

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift

(10) DE 44 23 184 A 1

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:

C 23 C 16/26

C 23 C 16/50

C 23 C 16/30

H 05 H 1/30

H 05 H 1/42

// (C23C 16/30,

16:32, 16:34, 16:36,

16:40)

(21) Aktenzeichen: P 44 23 184.9

(22) Anmeldetag: 1. 7. 94

(43) Offenlegungstag: 12. 1. 95

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)

07.07.93 JP P 167866/93 29.07.93 JP P 188084/93  
23.08.93 JP P 207912/93

(71) Anmelder:

Sanyo Electric Co., Ltd., Moriguchi, Osaka, JP

(74) Vertreter:

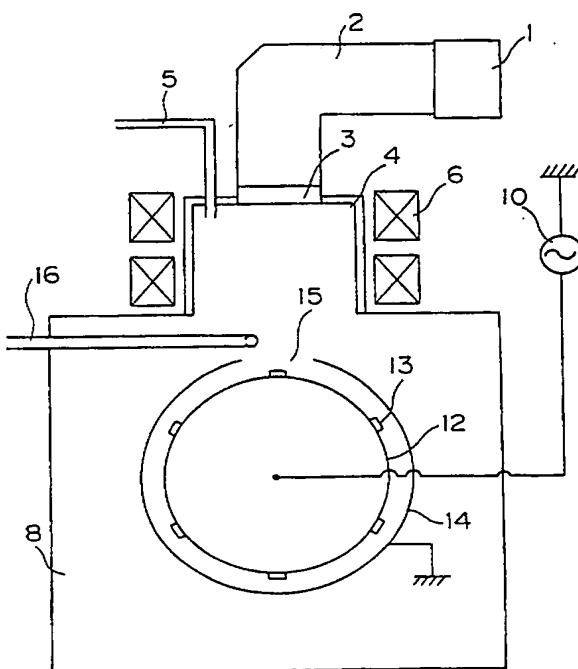
ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,  
Dipl.-Ing., 81679 München; Steinmeister, H.,  
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., 33617 Bielefeld; Urner, P.,  
Dipl.-Phys. Ing.(grad.) ; Merkle, G., Dipl.-Ing. (FH),  
Pat.-Anwälte, 81679 München

(72) Erfinder:

Hirano, Hitoshi, Moriguchi, Osaka, JP; Kuramoto,  
Keiichi, Moriguchi, Osaka, JP; Domoto, Yoichi,  
Moriguchi, Osaka, JP; Kiyama, Seiichi, Moriguchi,  
Osaka, JP

(54) Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat sowie Verfahren und Vorrichtung zu dessen Herstellung

(57) Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat, umfassend ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder einem nichtrostenden Stahl bestehendes Substrat, eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Ru, Si, Ge oder Kohlenstoff zusammengesetzte Zwischenschicht und einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.



DE 44 23 184 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 94 408 062/878

28/33

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Substrat mit einem harten Kohlenstofffilm, welch es für eine Schneideeinrichtung, wie etwa einen elektrischen Rasierapparat oder einen Dünnfilmkopf verwendet werden kann, sowie ein Verfahren und eine Vorrichtung zu dessen Herstellung.

Um die Haftung zwischen einem Substrat, wie einem keramischen Substrat oder einem Siliciumsubstrat und einem diamantähnlichen Kohlenstofffilm zu verbessern, wird allgemein die Bildung einer Zwischenschicht zwischen dem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm vorgeschlagen. Die JP-A-1-317 197 (1989) beschreibt ein Verfahren zur Bildung einer hauptsächlich aus Silicium zusammengesetzten Zwischenschicht auf einem Substrat durch Plasma-CVD, zur Bildung eines diamantähnlichen Kohlenstofffilms auf der Zwischenschicht. Aufgrund der Bildung einer solchen Zwischenschicht ist es möglich, die Haftung des diamantähnlichen Kohlenstofffilms gegenüber dem Substrat zu verbessern, verglichen mit der direkten Ausbildung eines diamantähnlichen Kohlenstofffilms auf einem Substrat.

Hinsichtlich eines diamantähnlichen Kohlenstofffilms, welcher auf einem Substrat aus Nickel (Ni), Aluminium (Al) oder nichtrostendem Stahl zur Verwendung als Schneidevorrichtung, wie etwa als elektrischer Rasierapparat, gebildet wird, wurden jedoch keine Untersuchungen im Hinblick auf die Bildung einer Zwischenschicht angestellt.

Andererseits ist eine in der JP-A-3-175 620 (1991) beschriebene Vorrichtung als solche zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms durch Plasma-CVD bekannt. Diese Vorrichtung wird zur Bildung eines diamantähnlichen Kohlenstofffilms, welcher ein harter Kohlenstofffilm ist, auf einem Substrat durch Vorspannungs-Plasma-CVD unter Anwendung einer ECR (Elektronenzyklotronresonanz)-CVD-Vorrichtung angepaßt.

Fig. 12 erläutert soich eine typische herkömmliche Vorrichtung zur Bildung eines diamantähnlichen Kohlenstofffilms. Unter Bezugnahme auf Fig. 12 gelangt eine von der Mikrowellenzufuhrseinrichtung 1 erzeugte Mikrowelle durch eine Wellenführung 2 und ein Mikrowellen-Einlaßfenster 3, um in eine Plasmaerzeugungskammer 4 geführt zu werden. Diese Plasmaerzeugungskammer 4 ist mit einer Entladungsgas-Einlaßleitung 5 zur Einführung eines Entladungsgases, wie etwa Argon (Ar)-Gas, versehen. Weiterhin ist ein Plasma-Magnetfeldgenerator 6 um die Plasmaerzeugungskammer 4 herum vorgesehen. Aufgrund den Wirkungen eines hochfrequenten Magnetfeldes, welches durch die Mikrowelle und ein durch den Plasma-Magnetfeldgenerator 6 erzeugtes Magnetfeld gebildet wird, wird ein Plasma hoher Dichte in der Plasmaerzeugungskammer 4 gebildet. Das Plasma wird entlang des von dem Plasma-Magnetfeldgenerator 6 divergierten Magnetfeldes zu einer Vakuumkammer 8 geführt, in welcher ein Substrat 7 angeordnet ist.

Die Vakuumkammer 8 ist mit einer Reaktionsgas-Einlaßleitung 9 zur Einführung von Methan ( $\text{CH}_4$ )-Gas, welches als Rohmaterialgas dient, versehen. Das Methangas, welches in die Vakuumkammer 8 durch die Reaktionsgas-Einlaßleitung 9 eingeführt wird, wird durch die Wirkung des Plasmas zersetzt, um einen Kohlenstofffilm zu bilden. Eine Hochfrequenz-Stromquelle 10 von beispielsweise 13,56 MHz ist außerhalb der Vakuumkammer 8 vorgesehen, um eine vorgeschriebene hochfrequente Spannung (RF-Spannung) an einen Substrathalter 11 anzulegen, wodurch in dem Substrat 7 eine negative automatische Gittervorspannung bzw. Selbstvorspannung entwickelt wird. Ionen wandern in dem Plasma mit geringerer Geschwindigkeit als Elektronen, und somit können die Ionen während der Anlegung der RF-Spannung nicht der Potentialableitung folgen, im Gegensatz zu den Elektronen. Somit wird eine große Menge Elektronen gegen das Substrat 7 emittiert aufgrund der Anlegung der RF-Spannung, wodurch eine negative Selbstvorspannung in dem Substrat 7 entwickelt wird. Somit werden in dem Plasma enthaltene, positive Ionen gezogen, um einen diamantähnlichen Kohlenstofffilm auf dem Substrat 7 zu bilden.

Bei einer solchen herkömmlichen Vorrichtung wird das Substrat 7 auf dem in der Vakuumkammer 8 vorgesehenen Substrathalter 11 montiert und danach die Vakuumkammer 8 zur Bildung eines Films evakuiert. Somit können bei diesem Vorrichtung nur ein oder höchstens zwei Substrate bei einem einzigen Filmbildungsvorgang behandelt werden.

Weiterhin wird bei der herkömmlichen Vorrichtung Entladung in der Nähe eines Bereichs des auf dem Substrathalter montierten Substrats, welcher nicht mit einem Film zu versehen ist, bewirkt, so daß nachteiligerweise die Temperatur des Substrats erhöht wird.

Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat vorzusehen, welches ein Substrat aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl und einen darauf vorgesehenen, harten Kohlenstofffilm umfaßt, wobei die Haftung zwischen dem Substrat und dem harten Kohlenstofffilm ausgezeichnet sein soll.

Ein anderes Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms vorzusehen, mit welcher gleichzeitig eine Vielzahl von Substraten in einem einzigen Verfahren behandelt werden kann, während ein übermäßiger Temperaturanstieg der Substrate verhindert wird, um in wirksamer Weise harte Kohlenstofffilme auf den Substraten auszubilden.

Das Konzept des harten Kohlenstofffilms gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt ebenso einen kristallinen Kohlenstofffilm oder amorphen, diamantähnlichen Kohlenstofffilm.

Ein mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung umfaßt ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat, eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Ru zusammengesetzte Zwischenschicht und einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.

Gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung ist die hauptsächlich aus Ru zusammengesetzte Zwischenschicht zwischen dem Substrat und dem harten Kohlenstofffilm vorgesehen. Die Haftung zwischen dem Substrat und dem harten Kohlenstofffilm ist durch eine solche Zwischenschicht verbessert.

Die Zwischenschicht wird vorzugsweise durch eine gemischte Schicht aus Ru und mindestens einem Element

aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff gebildet. Das Zusammensetzungsverhältnis einer solchen gemischten Schicht ist vorzugsweise entlang ihrer Dicke abgestuft. In anderen Worten besitzt die gemischte Schicht vorzugsweise eine abgestufte Zusammensetzungssstruktur mit einem höheren Ru-Gehalt in einem Bereich, welcher näher dem Substrat ist, und einem höheren Gehalt an Kohlenstoff etc. in einem Bereich, welcher näher dem harten Kohlenstofffilm ist.

Ein Verfahren zur Herstellung eines Substrats mit dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung umfaßt einen Schritt des Emittierens von Ionen aus einem Inertgas gegen ein Substrat, welches in einer Vakuumkammer angeordnet ist, während gleichzeitig Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht aus einer Verdampfungsquelle gegen das Substrat emittiert werden, wodurch eine Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet wird, und einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und zum Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.

Ein mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat, welches eine Zwischenschicht umfaßt, bei der es sich um eine gemischte Schicht aus Ru und mindestens einem Element aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff handelt, kann durch das folgende Verfahren gebildet werden.

Eines der Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung umfaßt einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in eine Vakuumkammer mit einer graduell erhöhten Zuführmenge zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen ein in der Vakuumkammer angeordnetes Substrat, während Ionen aus einem Inertgas gegen das Substrat emittiert und gleichzeitig Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht aus einer Verdampfungsquelle gegen das Substrat mit einer graduell verringerten Verdampfungsraten emittiert werden, wodurch eine aus einer gemischten Schicht aus den Stoffatomen und Kohlenstoff etc. bestehende Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet wird, und einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff etc. enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und zum Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.

Ein mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung umfaßt ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat, eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Si oder Ge bestehende Zwischenschicht, und einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.

Gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ist eine hauptsächlich aus Si oder Ge zusammengesetzte Zwischenschicht zwischen dem Substrat und einem diamantähnlichen Kohlenstofffilm vorgesehen. Die Haftung zwischen dem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm ist durch eine solche Zwischenschicht verbessert.

Gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ist die Zwischenschicht vor zugsweise durch eine gemischte Schicht aus Si oder Ge und Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff gebildet, deren Zusammensetzungsverhältnis entlang ihrer Dicke abgestuft ist. Die gemischte Schicht besitzt vorzugsweise einen höheren Si- oder Ge-Gehalt in einem Bereich, welcher näher dem Substrat ist und einen höheren Kohlenstoff-, Stickstoff- oder Sauerstoffgehalt in einem Bereich, welcher näher dem harten Kohlenstofffilm ist.

Wenn das mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung auf ein bzw. bei einem Innenblatt bzw. -messer eines elektrischen Rasierers angewandt wird, besitzt die Zwischenschicht vorzugsweise eine Dicke im Bereich von 5 bis 800 nm (50 bis 8000 Å).

Wenn das mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtete Substrat gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung auf ein bzw. bei einem Außenblatt bzw. -messer eines elektrischen Rasierers angewandt wird, liegt andererseits die Dicke der Zwischenschicht vorzugsweise im Bereich von 5 bis 400 (50 bis 4000 Å).

Der Effekt der Adhäsionsverbesserung verringert sich, wenn die Dicke der Zwischenschicht zu gering ist, während kein weiterer Effekt erzielt werden kann, selbst wenn die Dicke über den vorgenannten Bereich hinaus erhöht wird.

Ein Verfahren zur Herstellung eines mit einem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung umfaßt einen Schritt des Sputterns von Stoffatomen zur Bildung einer Zwischenschicht durch Bestrahlung mit Ionen eines Inertgases, wodurch eine Zwischenschicht auf einem in einer Vakuumkammer angeordneten Substrat gebildet wird, und einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und zum Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.

Eines der Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung umfaßt einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff enthaltenden Reaktionsgases in eine Vakuumkammer mit einer graduell erhöhten Zuführmenge zur Bildung eines Plasmas und zum Emittieren des Plasmas gegen ein in der Vakuumkammer angeordnetes Substrat, während Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht durch Bestrahlung dieses mit Ionen eines Inertgases mit graduell verringriger Bestrahlungsmenge gesputtert werden, wodurch eine aus einer gemischten Schicht aus den Stoffatomen und Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff bestehende Zwischenschicht gebildet wird, und einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und zum Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.

Gemäß diesem Verfahren ist es möglich, eine Zwischenschicht mit einer abgestuften Struktur zu bilden.

Ein mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung umfaßt ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat, eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehende Zwischenschicht und einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.

Gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung ist die hauptsächlich aus Kohlenstoff zusammengesetzte Zwischenschicht zwischen dem Substrat und einem diamantähnlichen Kohlenstofffilm vorgesehen. Die Haftung zwischen

dem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm ist durch eine solche Zwischenschicht verbessert.

Wenn das einen Kohlenstoff-Dünnfilm als Zwischenschicht umfassende, mit einem harten Kohlenstoff beschichtete Substrat bei einem Innenblatt eines Elektronenrasierers angewandt wird, liegt die Dicke des Kohlenstoff-Dünnfilms vorzugsweise innerhalb eines Bereichs von 5 bis 800 nm (50 bis 8000 Å), während dieser vorzugsweise eine Dicke von 5 bis 400 nm (50 bis 4000 Å) aufweist, wenn das mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat bei einem Außenblatt eines Elektronenrasierers angewandt wird.

Der Effekt der Adhäsionsverbesserung ist verringert, wenn die Dicke der Zwischenschicht zu gering ist, während kein weiterer Effekt zu erkennen ist, selbst wenn die Dicke über dem vorgenannten Bereich liegt.

Ein mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung kann nach dem Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung hergestellt werden.

Ein Verfahren gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf einem Substrat angewandt und umfaßt eine Stufe des Erzeugens eines Plasmas aus einem Inertgas durch Elektronenzyklotronresonanz, einen Schritt des Anlegens einer hochfrequenten Spannung an ein Substrat, so daß eine in dem Substrat entwickelte Eigenvorspannung nicht mehr als -20 V beträgt, und einen Schritt des Emittierens des Plasmas aus dem Inertgas gegen das Substrat durch eine Öffnung einer Abschirmungsabdeckung, welche über dem Substrat vorgesehen ist, während ein Kohlenstoffgas enthaltendes Reaktionsgas in das Plasma eingeführt wird zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf dem Substrat.

Bei dem Verfahren gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung wird das Inertgas vorzugsweise aus Ar-Gas hergestellt und das Kohlenstoff enthaltende Reaktionsgas vorzugsweise aus CH<sub>4</sub>-Gas hergestellt.

Ein solches Ar-Gas und CH<sub>4</sub>-Gas werden vorzugsweise bei Partialdrucken von mindestens 0,01333 Pa ( $1,0 \times 10^{-4}$  Torr) und nicht mehr als 0,2666 Pa ( $20,0 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt.

Eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß einem fünften Aspekt der Erfindung wird angewandt zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf einem Substrat und umfaßt eine Vakuumkammer, einen in der Vakuumkammer rotierbar angeordneten Substrathalter, eine Abschirmungsabdeckung, welche teilweise mit einer Öffnung versehen und so angeordnet ist, daß sie eine Außenoberfläche des Substrathalters einschließt, eine Plasmaerzeugungseinrichtung zur Erzeugung eines Plasmas in der Vakuumkammer und zum Emittieren des Plasmas gegen das Substrat durch die Öffnung, eine Reaktionsgas-Einlaßeinrichtung zur Zuführung eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in das von der Plasmaerzeugungseinrichtung erzeugte Plasma, und eine Hochfrequenz-Stromquelle zum Anlegen einer hochfrequenten Spannung an den Substrathalter, so daß eine in dem Substrat entwickelte Eigengittervorspannung bzw. Selbstvorspannung negativ wird.

Eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß einem sechsten Aspekt der Erfindung wird angewandt zur Bildung einer Zwischenschicht auf einem Substrat zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf der Zwischenschicht und umfaßt eine Vakuumkammer, einen rotierbar in der Vakuumkammer angeordneten Substrathalter, eine Abschirmungsabdeckung, welche teilweise mit ersten und zweiten Öffnungen versehen und so angeordnet ist, daß sie eine Außenoberfläche des Substrathalters einschließt, eine Plasmaerzeugungseinrichtung zur Erzeugung eines Plasmas in der Vakuumkammer und zum Emittieren des Plasmas gegen das Substrat durch die erste Öffnung, eine Reaktionsgaseinlaßeinrichtung zur Zuführung eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in das von der Plasmaerzeugungseinrichtung erzeugte Plasma, eine Hochfrequenzstromquelle zur Anlegung einer hochfrequenten Spannung an den Substrathalter, so daß eine in dem Substrat entwickelte Eigengittervorspannung bzw. Selbstvorspannung negativ wird, und eine in der Vakuumkammer vorgesehene Einrichtung zum Emittieren von Stoffatomen zur Bildung der Zwischenschicht gegen das Substrat durch die zweite Öffnung.

Eine Vorrichtung gemäß einem siebten Aspekt der Erfindung ist eine beispielhafte Vorrichtung gemäß dem sechsten Aspekt und ist dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht eine in der Vakuumkammer vorgesehene Verdampfungsquelle zum Emittieren der Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht gegen das Substrat durch die zweite Öffnung, und eine Ionenpistole zum Emittieren von Ionen aus einem Inertgas gegen das Substrat durch die zweite Öffnung gleichzeitig mit der Emission der Stoffatome aus der Verdampfungsquelle umfaßt.

Eine Vorrichtung gemäß einem achten Aspekt der Erfindung ist eine weitere beispielhafte Vorrichtung gemäß dem sechsten Aspekt und ist dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht einen Ionenauffänger bzw. ein Target, welches aus den Stoffatomen zur Bildung einer Zwischenschicht besteht, das in der Vakuumkammer zum Sputtern der Stoffatome gegen das Substrat durch die zweite Öffnung vorgesehen ist, und eine Ionenpistole zum Emittieren von Ionen aus einem Inertgas gegen das Target zum Sputtern desselben umfaßt.

Bei der Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist die Plasmaerzeugungseinrichtung vorzugsweise aus einer Elektronenzyklotronresonanz-Plasma-CVD-Vorrichtung hergestellt.

Bei der erfundungsgemäßen Vorrichtung ist die Abschirmungsabdeckung vorzugsweise von der Außenfläche des Substrathalters in einem Abstand getrennt, welcher nicht größer ist als eine mittlere freie Bahn der Gasmoleküle, vorzugsweise 1/10 der mittleren freien Bahn der Gasmoleküle.

Bei der erfundungsgemäßen Vorrichtung wird weiterhin die Abschirmungsabdeckung vorzugsweise auf einem vorgeschriebenen Potential gehalten und ist weiter vorzugsweise geerdet.

Bei der erfundungsgemäßen Vorrichtung sind die Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht beispielsweise diejenigen aus Si, Ru, Kohlenstoff oder Ge, oder einer Mischung aus Si, Ru, Kohlenstoff oder Ge und mindestens einem aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff, und der harte Kohlenstofffilm wird über eine solche Zwischenschicht auf einem Substrat gebildet, welches aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl besteht.

Die erfundungsgemäße Vorrichtung umfaßt den in der Vakuumkammer rotierbar vorgesehenen Substrathalter. Daher ist es möglich, eine Vielzahl von Substraten auf dem Substrathalter zu montieren, wodurch die Anzahl

der Substrate, welche in einer einzigen Evakuierung behandelt werden können, erhöht wird.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Abschirmungsabdeckung vorgesehen, um die Außenoberfläche des Substrats einzuschließen bzw. zu umhüllen, so daß das aus der Plasmaerzeugungseinrichtung erzeugte Plasma durch die Öffnung der Abschirmungsabdeckung emittiert wird zur Bildung des harten Kohlenstofffilms auf dem Substrat. Aufgrund einer solchen Abschirmungsabdeckung ist es möglich, das Auftreten von Entladung in einem anderen Bereich als dem zur Bildung des Films zu verhindern, wodurch eine Temperaturerhöhung des Substrats unterdrückt wird.

Ein Verfahren zur Herstellung des mit dem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats gemäß einem neunten Aspekt der Erfindung umfaßt einen Schritt des Zuführens eines Stoffatoms zur Bildung einer Zwischenschicht enthaltenden Gases in eine Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und zum Emissieren des Plasmas gegen ein Substrat, wodurch eine Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet wird, und einen Schritt des Zuführens eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und zum Emissieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.

Gemäß dem sechsten Aspekt der Erfindung ist die Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht vorgesehen zum Emissieren der Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht gegen das Substrat durch die zweite Öffnung der Abschirmungsabdeckung. Daher ist es möglich, die Zwischenschicht sowie den harten Kohlenstofffilm durch eine einzige Evakuierung zu bilden. Weiterhin ist es möglich, die Bildung des harten Kohlenstofffilms und diejenige der Zwischenschicht unabhängig voneinander zu regulieren. Daher ist es möglich, den harten Kohlenstofffilm auszubilden, nachdem eine erwünschte Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet ist.

Weiterhin ist es möglich, das Stoffzusammensetzungsverhältnis der Zwischenschicht wunschgemäß zu regulieren durch alternierende, wiederholte Abscheidung des Kohlenstofffilms durch Plasma-CVD über die erste Öffnung und Abscheidung der Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht durch die zweite Öffnung. Somit ist es möglich, das Stoffzusammensetzungsverhältnis der Zwischenschicht als abgestufte Struktur vorzusehen, welche graduell die Zusammensetzung des harten Kohlenstofffilms zu dem harten Kohlenstofffilm hin annimmt. Aufgrund der Ausbildung der Zwischenschicht einer solchen abgestuften Struktur ist es möglich, die Haftung zwischen dem Substrat und dem harten Kohlenstofffilm weiter zu verbessern.

Bei der Vorrichtung gemäß dem fünften Aspekt der Erfindung ist der Substrathalter in der Vakuumkammer vorgesehen, so daß eine Anzahl von Substraten auf dem Substrathalter montiert werden können. Somit ist es möglich, die Anzahl der Substrate, welche bei einer einzigen Evakuierung behandelt werden können, zu erhöhen.

Die Abschirmungsabdeckung ist um den Substrathalter herum vorgesehen, wodurch es möglich ist, das Auftreten von Entladung in der Nähe eines Substratbereichs, welcher nicht mit dem Film zu versehen ist, zu verhindern. Somit ist es möglich, den Film auszubilden, während das Substrat bei einer niedrigen Temperatur gehalten wird, wodurch keine Überlegungen hinsichtlich der Wärmebeständigkeit des Substrats erforderlich sind.

Die Vorrichtung gemäß dem sechsten Aspekt der Erfindung ist weiterhin mit einer Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht versehen. Somit ist es möglich, die Zwischenschicht auf dem Substrat in einer einzigen Evakuierungsstufe zu bilden.

Weiterhin ist es möglich, das Stoffzusammensetzungsverhältnis der Zwischenschicht zu ändern durch alternierendes Ausführen der Schritte des Bildens von Dünnsfilmen durch die Plasmaerzeugungseinrichtung und der Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht und Ändern der jeweiligen Bedingungen zur Bildung des Dünnsfilms. Somit ist es möglich, eine Zwischenschicht mit einer abgestuften Struktur zu bilden, wodurch die Haftung zwischen dem Substrat und dem harten Kohlenstofffilm weiter verbessert wird.

Die vorgenannten sowie weitere Ziele, Merkmale, Aspekte und Vorteile der Erfindung werden anhand der folgenden detaillierten Beschreibung der vorliegenden Erfindung in Verbindung mit den Zeichnungen noch verständlicher.

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht einer Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms in einer Ausführungsform gemäß dem fünften Aspekt der Erfindung;

Fig. 2 ist eine Draufsicht, welche einen Bereich um ein vorderseitiges Ende einer Reaktionsgas-Einlaßleitung herum zeigt, welche in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform vorgesehen ist;

Fig. 3 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Filmbildungszeit und der Substrattemperatur in einem Beispiel gemäß der vorliegenden Erfindung und in Vergleichsbeispielen;

Fig. 4 ist eine schematische Schnittansicht, welche eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms in einer Ausführungsform gemäß dem siebten Aspekt der Erfindung zeigt;

Fig. 5 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Filmbildungszeit und der CH<sub>4</sub>-Strömungsrate bei der Bildung einer Zwischenschicht mit einer abgestuften Struktur mittels der Vorrichtung nach der Ausführungsform gemäß dem siebten Aspekt der Erfindung;

Fig. 6 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Filmbildungszeit und der Verdampfungsrate bei der Bildung einer Zwischenschicht mit einer abgestuften Struktur mittels einer Vorrichtung nach der Ausführungsform gemäß dem siebten Aspekt der Erfindung;

Fig. 7 ist eine schematische Schnittansicht, welche eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms in einer Ausführungsform gemäß dem achten Aspekt der Erfindung zeigt;

Fig. 8 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Filmbildungszeit und der CH<sub>4</sub>-Strömungsrate bei der Bildung einer Zwischenschicht mit abgestufter Struktur mittels einer Vorrichtung nach der Ausführungsform gemäß dem achten Aspekt der Erfindung;

Fig. 9 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Filmbildungszeit und der Ionenstromdichte bei der Bildung der Zwischenschicht mit einer abgestuften Struktur mittels der Vorrichtung nach der Ausführungsform gemäß dem achten Aspekt der Erfindung;

Fig. 10 ist eine Schnittansicht, welche einen direkt auf einem Substrat gebildeten diamantähnlichen Kohlenstofffilm gemäß einem Beispiel der Erfindung zeigt;

Fig. 11 ist eine Schnittansicht, welche eine auf einem Substrat gebildete Zwischenschicht und einen darauf gebildeten, diamantähnlichen Kohlenstofffilm gemäß einem anderen Beispiel der Erfindung zeigt;

Fig. 12 ist eine schematische Schnittansicht, welche eine herkömmliche Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms zeigt;

Fig. 13 veranschaulicht die Beziehungen zwischen den Partialdrücken für die Zuführung von Ar-Gas und Werten der Filmhärte bei einem Verfahren zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 14 veranschaulicht die Beziehung zwischen einer in einem Substrat entwickelten Eigenvorspannung und der Filmhärte bei einem Verfahren zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht, welche eine beispielhafte Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß der Erfindung zeigt. Unter Bezugnahme auf Fig. 1 ist eine Plasmaerzeugungskammer 4 in einer Vakuumkammer 8 vorgesehen. Ein Ende einer Wellenführung 2 ist auf der Plasmaerzeugungskammer 4 montiert, während eine Mikrowellenzuführeinrichtung 1 an einem anderen Ende der Wellenführung 2 vorgesehen ist. Eine in der Mikrowellenzuführeinrichtung 1 erzeugte Mikrowelle gelangt durch die Wellenführung 2 und ein Mikrowellen-Einlaßfenster 3. um in die Plasmaerzeugungskammer 4 geleitet zu werden. Die Plasmaerzeugungskammer 4 ist mit einer Entladungsgas-Einlaßleitung 5 zur Einführung eines Entladungsgases, wie etwa Argon (Ar)-Gas in die Plasmaerzeugungskammer 4 ausgerüstet. Weiterhin ist ein Plasma-Magnetfeldgenerator 6 um die Plasmaerzeugungskammer 4 herum vorgesehen. Ein Plasma hoher Dichte wird in der Plasmaerzeugungskammer 4 gebildet durch die Wirkungen eines hochfrequenten Magnetfeldes, welches durch die Mikrowelle und ein durch den Plasma-Magnetfeldgenerator 6 erzeugtes Magnetfeld gebildet wird.

Ein zylindrischer Substrathalter 12 ist in der Vakuumkammer 8 vorgesehen. Der zylindrische Substrathalter 12 ist um eine Welle (nicht gezeigt), welche rechtwinklig zu den Wandoberflächen der Vakuumkammer 8 vorgesehen ist, rotierbar. Eine Vielzahl von Substraten 13 sind auf der Außenfläche des Substrathalters 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Gemäß dieser Ausführungsform sind 24 Substrate 13, welche durch Nickel (Ni)-Substrate gebildet sind, auf der Außenfläche des Substrathalters 12 montiert. Eine Hochfrequenz-Stromquelle 10 ist mit dem Substrathalter 12 verbunden.

Eine zylindrische Abschirmungsabdeckung 14 aus einem Metall ist um den Substrathalter 12 herum in einem vorgeschriebenen Abstand angeordnet. Diese Abschirmungsabdeckung 14 ist mit einer geerdeten Elektrode verbunden. Die Abschirmungsabdeckung 14 ist so angelegt, daß sie den Substrathalter 12 an einer Entladung hindert, welche über anderen als denen zur Filmbildung vorgesehenen Bereichen und der Vakuumkammer 8 verursacht wird, durch eine RF-Spannung, welche an den Substrathalter 12 bei der Bildung von Filmen angelegt wird. Der Substrathalter 12 und die Abschirmungsabdeckung 14 sind so angeordnet, daß der Abstand dazwischen nicht größer ist als die mittlere freie Bahn von Gasmolekülen. Die mittlere freie Bahn der Gasmoleküle ist ein solcher mittlerer Abstand oder ein geringerer Abstand, daß Ionen und Elektronen, welche durch irgendwelche Umstände erzeugt und durch ein elektrisches Feld beschleunigt werden, ohne Kollision wandern können. Der Abstand zwischen dem Substrathalter 12 und der Abschirmungsabdeckung 14 wird so eingestellt, daß er nicht größer als die mittlere freie Bahn der Gasmoleküle ist, so daß die Wahrscheinlichkeit, daß Ionen und Elektronen mit den Gasmolekülen kollidieren verringert werden kann, wodurch ein Kettenverlauf der Ionisation vermieden wird.

Der Abstand zwischen dem Substrathalter 12 und der Abschirmungsabdeckung 14 wird vorzugsweise so eingestellt, daß er nicht größer als 1/10 der mittleren freien Bahn der Gasmoleküle ist. Gemäß dieser Ausführungsform wird der Abstand zwischen dem Substrathalter 12 und der Abschirmungsabdeckung 14 auf etwa 5 mm eingestellt, was nicht mehr als 1/10 der mittleren freien Bahn der Gasmoleküle ist.

Die Abschirmungsabdeckung 14 besitzt eine Öffnung 15. Das Plasma, welches von der Plasmaerzeugungskammer 4 abgezogen wird, passiert die Öffnung 15, um gegen jedes Substrat 13, welches auf dem Substrathalter 12 montiert ist, emittiert zu werden. Die Vakuumkammer 8 ist mit einer Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 im Inneren versehen. Ein vorderseitiges Ende der Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 ist oberhalb der Öffnung 15 positioniert. Fig. 2 ist eine Draufsicht, welche einen Bereich um das vorderseitige Ende der Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 herum zeigt. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 wird die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 durch ein Gas-Einlaßteil 16a zur Einführung von CH<sub>4</sub>-Gas in die Vakuumkammer 8 von außen und ein Gasentladungsteil 16b, welches mit dem Gas-Einlaßteil 16a in rechtwinkliger Position verbunden ist, gebildet. Das Gasentladungsteil 16b ist rechtwinklig zur Rotationsrichtung A des Substrathalters 12 angeordnet, um stromaufwärts der Rotationsrichtung oberhalb der Öffnung 15 positioniert zu sein. Das Gasentladungsteil 16b ist mit einer Vielzahl von Löchern 21 versehen, welche in einem Winkel von etwa 45° nach unten gerichtet sind. Gemäß dieser Ausführungsform sind acht Löcher 21 in Abständen vorgesehen, welche von der Mitte zu den beiden Seiten stufenweise enger werden. Das CH<sub>4</sub>-Gas, welches über das Gas-Einlaßteil 16a eingeführt wird, wird somit im wesentlichen gleichmäßig von den jeweiligen Löchern 21 entladen.

Nachfolgend wird ein Beispiel zur Bildung von diamantähnlichen Kohlenstofffilmen, welche als harte Kohlenstofffilme auf Nickelsubstraten dienen, durch die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung beschrieben.

Zuerst wurden 24 Ni-Substrate 13 auf der Außenoberfläche des Substrathalters 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Dann wurde die Vakuumkammer 8 auf  $1,333 \times 10^{-3}$  bis  $1,333 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr) evakuiert und der Substrathalter 12 mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 U/min rotiert. Dann wurde Ar-Gas über die Entladungsgas-Einlaßleitung 5 eines ECR-Plasmagenerators bei  $7,6 \times 10^{-2}$  Pa ( $5,7 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt, während eine Mikrowelle von 2,45 GHz und 100 W von der Mikrowellen-Zuführeinrichtung zugeführt wurde, so daß ein in der Plasmaerzeugungskammer 4 gebildetes Ar-Plasma auf die Oberfläche jedes Substrats 13 emittiert wurde. Gleichzeitig wurde eine RF-Spannung von 13,56 MHz an den Substrathalter 12 von einer

Hochfrequenz-Stromquelle 10 angelegt, so daß eine in jedem Substrat 13 entwickelte Selbstvorspannung – 20 V betrug. CH<sub>4</sub>-Gas wurde über die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 bei 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt. Das über die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 zugeführte CH<sub>4</sub>-Gas wurde durch die Wirkung des Plasmas zersetzt, so daß Kohlenstoff einen ionischen oder neutralen, aktivierte Zustand mit hoher Reaktivität annahm, um auf die Oberfläche jedes Substrats 13 emittiert zu werden.

Die vorgenannte Stufe wurde während etwa 15 Minuten durchgeführt, um einen diamantähnlichen Kohlenstofffilm einer Dicke von 120,0 nm (1200 Å) auf der Oberfläche jedes Substrats 13 zu bilden. Fig. 10 ist eine Schnittansicht, welche einen auf jedem Substrat 13 in der vorgenannten Weise gebildeten, diamantähnlichen Kohlenstofffilm zeigt. Unter Bezugnahme auf Fig. 10 ist ein diamantähnlicher Kohlenstofffilm 21 auf dem Substrat 13 ausgebildet.

Fig. 3 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Filmbildungszeit und der Substrattemperatur beim vorgenannten Beispiel (nachfolgend als "Beispiel 1" bezeichnet), mit den Ergebnissen von Vergleichsbeispiel 1 hinsichtlich diamantähnlichen Kohlenstofffilmen, welche ähnlich Beispiel 1 gebildet wurden, mit der Ausnahme, daß der Substrathalter 12 nicht rotiert wurde, und von Vergleichsbeispiel 2 hinsichtlich diamantähnlichen Kohlenstofffilmen, welche in einer Vorrichtung gebildet wurden, die ohne Abschirmungsabdeckung und ohne Rotation eines Substrathalters vorgesehen war. Wie aus der Fig. 3 zu ersehen ist, betrug die Substrattemperatur etwa 45°C in Beispiel 1 nach einem Zeitraum von 15 Minuten nach dem Beginn der Filmbildung, während diese bei den Vergleichsbeispielen 1 und 2 etwa 60°C bzw. etwa 150°C betrugen. Die Substrattemperatur war in Vergleichsbeispiel 2 extrem erhöht, möglicherweise deswegen, weil Entladung zwischen anderen als zur Filmbildung vorgesehenen Bereichen des Substrathalters und der Vakuumkammer verursacht wurde. Die Substrattemperatur in Vergleichsbeispiel 1 war geringer als die in Vergleichsbeispiel 2, was zu verstehen gibt, daß es möglich ist, die Substrattemperatur durch Vorsehen der Abschirmungsabdeckung zu verringern. Beim Vergleich des Beispiels 1 mit Vergleichsbeispiel 1 war die Substrattemperatur des ersten geringer als die des letzteren, möglicherweise deswegen, da durch Plasmaentladung aufgeheizte Bereiche nacheinander unter Befolgung der Rotation des Substrathalters bewegt wurden, um eine Erhöhung der Substrattemperatur zu unterdrücken. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, den Typ der Substrate ohne Berücksichtigung der Wärmebeständigkeit zu wählen, da eine Erhöhung der Substrattemperatur unterdrückt werden kann.

Die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung wurde verwendet, um RF-Spannungen an Substrate anzulegen, so daß in den Substraten entwickelte Selbstvorspannungen -50 V betragen, während CH<sub>4</sub>-Gas von der Reaktionsgas-Einlaßleitung bei Partialdrücken von  $4 \times 10^{-2}$  Pa ( $3,0 \times 10^{-4}$  Torr), 0,1333 Pa ( $1,0 \times 10^{-3}$  Torr) bzw. 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt wurde, um die Beziehungen zwischen den Partialdrücken und den Härtewerten der gebildeten, diamantähnlichen Kohlenstofffilme zu untersuchen.

Fig. 13 veranschaulicht die Beziehungen zwischen den Partialdrücken für das Zuführen von Ar-Gas und den Werten der Vickers-Härte der Filme, welche auf Grundlage der JIS G0202 gemessen wurden.

Wie in Fig. 13 gezeigt, betragen die Härtewerte der Filme etwa 3000 Hv unabhängig von den Partialdrücken für die Zuführung von Ar-Gas. Weiterhin wurden im wesentlichen gleiche Ergebnisse erhalten, wenn die Partialdrücke für die Zuführung von CH<sub>4</sub>-Gas geändert wurden. Daraus ist zu erkennen, daß es möglich ist, diamantähnliche Kohlenstofffilme mit vorgeschriebenen Werten der Filmhärte auf Substraten zu bilden, unabhängig von den Partialdrücken für die Zuführung von Ar-Gas und CH<sub>4</sub>-Gas.

Es wurden dann das Ar-Gas und das CH<sub>4</sub>-Gas bei Partialdrücken von  $7,6 \times 10^{-2}$  Pa ( $5,7 \times 10^{-4}$  Torr) bzw. 0,1333 Pa ( $1,0 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt, während die Ausgangsleistung von der Hochfrequenz-Stromquelle geändert wurde, um die in den Substraten entwickelte Selbstvorspannung zu variieren. Fig. 14 veranschaulicht die Beziehung zwischen der in jedem Substrat entwickelten Eigen- bzw. Selbstvorspannung und der Filmhärte des gebildeten, diamantähnlichen Kohlenstofffilms.

Wie in Fig. 14 gezeigt, lag die Filmhärte bei einem niedrigen Wert von etwa 500 Hv, wenn die in jedem Substrat entwickelte Selbstvorspannung 0 V betrug. Die Filmhärte erhöhte sich, wenn die Selbstvorspannung im Bereich von 0 V bis – 20 V lag als Folge der Zunahme des Absolutwerts der Spannung. Die Filmhärte zeigte einen hohen Wert von etwa 3000 Hv, wenn die Selbstvorspannung – 20 V betrug. Diese Filmhärte von etwa 3000 Hv blieb im wesentlichen unverändert, wenn die Selbstvorspannung unterhalb – 20 V verringert wurde. Daraus ist zu erkennen, daß es möglich ist, diamantähnliche Kohlenstofffilme einer Härte von etwa 3000 Hv auf Substraten auszubilden durch Einstellen der RF-Spannung der Hochfrequenz-Stromquelle derart, daß die in jedem Substrat entwickelte Selbstvorspannung nicht mehr als – 20 V beträgt, unabhängig von den Partialdrücken für das Zuführen von Ar-Gas und CH<sub>4</sub>-Gas.

Ein Ergebnis ähnlich dem in Fig. 14 gezeigten wurde ebenso erhalten, wenn die Partialdrücke für das Zuführen von Ar-Gas und CH<sub>4</sub>-Gas in einem Bereich von  $1,33 \times 10^{-2}$  bis  $26,66 \times 10^{-2}$  Pa ( $1,0 \times 10^{-4}$  bis  $20,0 \times 10^{-4}$  Torr) variiert wurden.

Es wird nun eine andere Ausführungsform zur Bildung von Zwischenschichten auf Substraten zur Bildung diamantähnlicher Kohlenstofffilme, die als harte Kohlenstofffilme dienen, auf den Zwischenschichten beschrieben.

Fig. 11 ist eine Schnittansicht, welche eine Zwischenschicht 22 zeigt, die auf einem Substrat 13 gebildet ist, so daß ein harter Kohlenstofffilm 21 auf dieser Zwischenschicht 22 gebildet ist.

Fig. 4 ist eine schematische Schnittansicht, welche eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung zeigt. Unter Bezugnahme auf Fig. 4 ist eine Abschirmungsabdeckung 44 um einen Substrathalter 12 herum angeordnet, welcher in einer Vakuumkammer 8 vorgesehen ist. Diese Abschirmungsabdeckung 44 ist mit einer ersten und einer zweiten Öffnung 45 und 43 versehen. Gemäß dieser Ausführungsform sind die erste und die zweite Öffnung 45 und 43 in im wesentlichen gegenüberliegenden Positionen ausgebildet. Die erste Öffnung 45 ist ähnlich der in Fig. 1 gezeigten Öffnung 15 gebildet, so daß ein vorderseitiges Ende einer Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 oberhalb der ersten Öffnung 45, ähnlich der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung, plaziert ist.

Eine Verdampfungsquelle 41 ist unterhalb der zweiten Öffnung 43 vorgesehen, zur Verdampfung von Stoffatomen zur Bildung von Zwischenschichten mittels eines Elektronenstrahls und zum Emittieren derselben gegen die Substrate 13. Eine Ionenquelle bzw. -pistole 42 ist in der Nähe der Verdampfungsquelle 41 vorgesehen, um Ionen eines Inertgases zu emittieren, um den von der Verdampfungsquelle 41 verdampften Stoffatomen Energie zu liefern. Gemäß dieser Ausführungsform besteht das Inertgas aus Ar-Gas und die Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht wird durch die Verdampfungsquelle 41 und die Ionenpistole 42 gebildet. Die Verdampfungsquelle 41 und die Ionenpistole 42 emittieren die Stoffatome zur Bildung von Zwischenschichten auf den Substraten 13 durch die zweite Öffnung 43.

Andere Strukturen dieser Ausführungsform sind ähnlich der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform, so daß somit Teile, welche denen in Fig. 1 entsprechen, mit den gleichen Bezugsziffern wiedergegeben sind, um ein überflüssige Beschreibung zu vermeiden.

Es folgt nun die Beschreibung eines Beispiels zur Bildung von Zwischenschichten aus einem einzigen Element, so daß diamantähnliche Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten gebildet wurden.

Ähnlich zu Beispiel 1 wurden 24 Ni-Substrate 13 auf der Außenoberfläche des Substrathalters 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Die Vakuumkammer 8 wurde auf  $1,33 \times 10^{-3}$  bis  $1,33 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr) evakuiert und der Substrathalter 12 mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 U/min rotiert. Dann wurde der Ionenpistole 42 Ar-Gas zugeführt, so daß Ar-Ionen entnommen und auf die Oberfläche jedes Substrats 13 emittiert wurden. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Ar-Ionen auf eine Beschleunigungsspannung von 400 eV und eine Ionenstromdichte von  $0,3 \text{ mA/cm}^2$  eingestellt. Gleichzeitig mit der Emission der Ar-Ionen wurde die Verdampfungsquelle 41 betrieben, um Ru-Atome zu verdampfen, um diese auf die Oberfläche jedes Substrats 13 zu emittieren. Die Ru-Verdampfungsrate wurde auf 42,0 nm/min (420 Å/min), ausgedrückt als Filmbildungsrate auf jedem Substrat 13, eingestellt.

Die vorgenannte Stufe wurde während etwa 5 Minuten durchgeführt, um eine Zwischenschicht aus Ru mit einer Dicke von 20,0 nm (200 Å) auf der Oberfläche jedes Substrats 13 zu bilden.

Dann wurde die Emission der Ru-Atome aus der Verdampfungsquelle 41 und die der Ar-Ionen aus der Ionenpistole 42 gestoppt und danach Ar-Gas aus einer Entladungsgas-Einlaßleitung 5 eines ECR-Plasmagenerators bei  $7,6 \times 10^{-2}$  Pa ( $5,7 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt, während eine Mikrowelle von 2,45 GHz und ein 100 W von der Mikrowellen-Zuführeinrichtung 1 zugeführt wurde, um ein in der Plasmaerzeugungskammer 4 gebildetes Ar-Plasma auf die Oberfläche jedes Substrats 13 zu emittieren. Gleichzeitig wurde eine RF-Spannung von 13,56 MHz aus einer Hochfrequenz-Stromquelle 10 an den Substrathalter 12 angelegt, und CH<sub>4</sub>-Gas wurde über eine Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 bei 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt, so daß eine in jedem Substrat 13 entwickelte Selbstvorspannung – 20 V betrug.

Die vorgenannte Stufe wurde während etwa 15 Minuten durchgeführt, um einen diamantähnlichen Kohlenstofffilm einer Dicke von 120,0 nm (1200 Å) auf der Zwischenschicht, die auf jedem Substrat 13 ausgebildet war, zu bilden.

Als Ergebnis der vorgenannten zwei Stufen wurde ein schichtförmiger Dünnfilm, welcher mit der Zwischenschicht 22 aus Ru, die auf der Oberfläche jedes Substrats 13 gebildet war, und dem auf der Zwischenschicht 22 gebildeten, diamantähnlichen Kohlenstofffilm 21 versehen war, erhalten, wie in Fig. 11 gezeigt. Aufgrund dieser Bildung der Zwischenschicht 22 ist es möglich, Spannungen in dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm 21 zu relaxieren, wodurch die Haftung zwischen dem Substrat 13 und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm 21 verbessert wird. Die Spannungen in dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm 21 können vermutlich deswegen relaxiert werden, weil es möglich ist, eine durch einen Unterschied im thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Substrat 13 und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm 21 verursachte, thermische Spannung aufgrund des Vorliegens der Zwischenschicht 22 zu relaxieren.

Es folgt nun die Beschreibung eines Beispiels zur Bildung gemischter Schichten aus Stoffatomen und Kohlenstoff als Zwischenschichten, welche darauf mit diamantähnlichen Kohlenstofffilmen zu versehen sind. Bei diesem Beispiel wurde eine Vorrichtung ähnlich der in Fig. 4 gezeigten verwendet.

Ähnlich zu Beispiel 1 wurden 24 Ni-Substrate 13 auf der Außenoberfläche des Substrathalters 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Die Vakuumkammer 8 wurde auf  $1,33 \times 10^{-3}$  bis  $1,33 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr) evakuiert und der Substrathalter 12 mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 U/min rotiert.

Dann wurde Ar-Gas über die Entladungsgas-Einlaßleitung 5 des ECR-Plasmagenerators bei  $7,6 \times 10^{-2}$  Pa ( $5,7 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt, während eine Mikrowelle von 2,45 GHz und 100 W aus der Mikrowellen-Zuführeinrichtung 1 zugeführt wurde, um ein in der Plasmaerzeugungskammer 4 gebildetes Ar-Plasma auf die Oberfläche jedes Substrats 13 zu emittieren. Gleichzeitig wurde eine RF-Spannung von 13,56 MHz an den Substrathalter 12 von einer Hochfrequenz-Stromquelle 10 angelegt, während CH<sub>4</sub>-Gas über die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 zugeführt wurde, so daß eine In jedem Substrat 13 entwickelte Eigenvorspannung – 20 V betrug. Die Zuführmenge des CH<sub>4</sub>-Gases wurde graduell im Verlauf der Zeit erhöht, wie in Fig. 5 gezeigt, so daß diese 100 sccm (cm<sup>3</sup>/min), das heißt 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr), nach einem Zeitraum von 5 Minuten betrug.

Gleichzeitig mit der vorgenannten Filmbildung durch den ECR-Plasmagenerator wurden Ar-Ionen von der Ionenpistole 42 und Ru-Atome von der Verdampfungsquelle 41 zu der Oberfläche jedes Substrats 13 emittiert. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Ar-Ionen bei einer Beschleunigungsspannung von 400 eV und einer Ionenstromdichte von  $0,3 \text{ mA/cm}^2$  eingestellt. Weiterhin wurde die Ru-Verdampfungsrate im Verlauf der Zeit graduell reduziert von 42,0 nm/min (420 Å/min), ausgedrückt als Filmbildungsrate auf jedem Substrat 13, um nach einem Zeitraum von 5 Minuten 0 nm/min zu erreichen, wie in Fig. 6 gezeigt. Die Emission der Ar-Ionen aus der Ionenpistole 42 wurde gestoppt, wenn die Ru-Verdampfungsrate 0 nm/min erreichte, das heißt nach einer Zeitspanne von 5 Minuten.

Wie oben beschrieben, wurden die Kohlenstofffilmbildung durch Plasma-CVD und die Ru-Verdampfung gleichzeitig in der ersten und zweiten Öffnung 45 bzw. 43 durchgeführt, um eine Zwischenschicht zu bilden,

welche Ru und C in gemischem Zustand enthält. Gemäß diesem Beispiel wurde die vorgenannte Stufe während etwa 5 Minuten durchgeführt, um eine gemischte Schicht aus Ru und C mit einer Gesamtdicke von 20,0 nm (200 Å) auf der Oberfläche jedes Substrats 13 zu bilden. Wie in den Fig. 5 und 6 gezeigt, wurden das Verdampfungs-  
5 volumen von Ru verringert und die Menge der Kohlenstofffilmbildung im Lauf der Zeit erhöht. Somit besaß die Zwischenschicht eine solche abgestufte Struktur, daß der Ru-Gehalt graduell verringert und der C-Gehalt graduell erhöht wurde, in der Staffelung des Abstandes von der Oberfläche jedes Substrats 13 aus.

Dann wurde ein diamantähnlicher Kohlenstofffilm auf jeder der erzeugten Zwischenschicht gebildet. CH<sub>4</sub>-Gas wurde über die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 bei einem konstanten Partialdruck von 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt, um eine kontinuierliche Filmbildung durch den ECR-Plasmagenerator bei der vorgenannten Stufe durchzuführen. Diese Stufe wurde während etwa 15 Minuten durchgeführt, um einem diamantähnlichen Kohlenstofffilm einer Dicke von 120,0 nm (1200 Å) auf der Zwischenschicht, die auf dem Substrat 13 vorgesehen war, zu bilden.  
10

Als Ergebnis wurde ein schichtförmiger Film aus einer aus Ru und C mit einer abgestuften Struktur bestehenden Zwischenschicht und einem diamantähnlichen Kohlenstofffilm auf jedem Substrat 13 gebildet. Eine solche Zwischenschicht mit einer abgestuften Struktur kann weiterhin die Haftung zwischen dem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm verbessern, verglichen mit der vorgenannten Zwischenschicht, die aus einem einzigen Element besteht.  
15

Hinsichtlich der Haftung der diamantähnlichen Kohlenstofffilme, welche mittels der Vorrichtung nach der vorgenannten Ausführungsform gebildet wurden, wurde eine Bewertungsprüfung durchgeführt. Es wurden Proben hergestellt durch direktes Ausbilden von diamantähnlichen Kohlenstofffilmen auf Ni-Substraten (Beispiel 1), durch Bilden von aus Ru bestehenden Zwischenschichten auf Ni-Substraten zur Bildung diamantähnlicher Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten (Beispiel 2), durch Bilden von Zwischenschichten aus gemischten Schichten, die aus Ru und C bestehen, auf Ni-Substraten zur Bildung diamantähnlicher Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten (Beispiel 3) und durch Anwendung einer Si-Verdampfungsquelle zur Bildung von aus Si bestehenden Zwischenschichten auf Ni-Substraten und Bildung diamantähnlicher Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten (Beispiel 4). Die Haftung wurde durch einen Eindringungstest mit konstanten Lasten (1 kg) unter Verwendung von Vickers-Eindrückköpfen bewertet. Für jedes Beispiel wurden 50 Proben hergestellt, wobei die Anzahl derjenigen gezählt wurde, bei denen eine Abtrennung der auf den Ni-Substraten gebildeten, diamantähnlichen Kohlenstofffilme bewirkt wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 gezeigt.  
20  
25  
30

Tabelle 1

	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3	Beispiel 4
Anzahl der Proben, bei denen Abtrennung bewirkt wurde	43	7	0	16

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, war die Anzahl der Proben, bei denen eine Abtrennung bewirkt wurde, in den Beispielen 2, 3 und 4, die mit Zwischenschichten versehen waren, verringert, verglichen mit Beispiel 1, bei dem keine Zwischenschichten vorgesehen waren. Daraus ist zu erkennen, daß es möglich ist, die Haftung der diamantähnlichen Kohlenstofffilme durch Vorsehen der Zwischenschichten zu verbessern. Insbesondere aus Beispiel 3 ist klar zu verstehen, daß es möglich ist, die Haftung der diamantähnlichen Kohlenstofffilme durch Bilden von Zwischenschichten aus Ru und C mit abgestuften Strukturen deutlich zu verbessern.  
35  
40  
45

Beim Vergleich der Beispiele 2 und 4 miteinander ist zu erkennen, daß Ru dem 51 zur Herstellung von Stoffatomen zur Bildung von Zwischenschichten auf Ni-Substraten überlegen ist.  
50

Fig. 7 ist eine schematische Schnittansicht, welche eine Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Unter Bezugnahme auf Fig. 7 ist eine Abschirmungsabdeckung 44 um einen Substrathalter 12 herum vorgesehen, welcher in einer Vakuumkammer 8 angeordnet ist. Die erste Öffnung 45 ist ähnlich der in Fig. 1 gezeigten Öffnung 15 ausgebildet, so daß ein vorderseitiges Ende einer Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 oberhalb der ersten Öffnung 45 plaziert ist, ähnlich der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung.  
55

Ein Ionenauffänger bzw. ein Target 46 aus Stoffatomen zur Bildung von Zwischenschichten ist unterhalb der zweiten Öffnung 43 vorgesehen. Weiterhin ist eine Ionenpistole 47 in der Nähe des Targets 46 vorgesehen, um Ionen aus einem Inertgas gegen das Target 46 zu emittieren, wodurch ein Sputtern des Targets 46 erfolgt. Gemäß dieser Ausführungsform besteht das Inertgas aus Ar-Gas und die Einrichtung zur Bildung der Zwischenschicht wird durch ein Target 46 und die Ionenpistole 47 gebildet, während Dünnfilmköpfe 48 auf dem Substrathalter 12 als Substrate montiert sind. Das Target 46 und die Ionenpistole 47 emittieren die Stoffatome zur Bildung von Zwischenschichten auf die Dünnfilmköpfe 48 durch die zweite Öffnung 43.  
60  
65

Die Ionen aus der Ionenpistole 47 werden nicht nur auf das Target 46 aufgebracht, sondern ebenso auf die Dünnfilmköpfe 48.

Andere Strukturen dieser Ausführungsform sind ähnlich der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform, so daß

Teile, welche denen in Fig. 1 entsprechen, durch die gleichen Bezugsziffern wiedergegeben sind, um überflüssige Beschreibung zu vermeiden.

Nachfolgend folgt die Beschreibung eines Beispiels zur Bildung von Zwischenschichten aus einem einzigen Element, so daß darauf diamantähnlichen Kohlenstofffilme gebildet wurden.

Ähnlich zu Beispiel 1 wurden 24 Dünnfilmköpfe 48 auf der Außenoberfläche des Substrathalters 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Die Vakuumkammer 8 wurde auf  $1,33 \times 10^{-3}$  bis  $1,33 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr) evakuiert und der Substrathalter 12 mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 U/min rotiert. Dann wurde Ar-Gas der Ionenpistole 42 zugeführt, so daß Ar-Ionen entnommen und auf die Oberfläche des aus Si bestehenden Targets 46 emittiert wurden. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Ar-Ionen bei einer Beschleunigungsspannung von 900 eV und einer Ionenstromdichte von  $0,3 \text{ mA/cm}^2$  eingestellt.

Die vorgenannte Stufe wurde während etwa 2 Minuten durchgeführt, um eine Zwischenschicht aus Si mit einer Dicke von 6,0 nm (60 Å) auf der Oberfläche jedes Dünnfilmkopfes 48 zu bilden.

Dann wurde die Emission der Ar-Ionen aus der Ionenpistole 47 gestoppt und Ar-Gas über eine Entladungsgas-Einlaßöffnung 5 eines ECR-Plasmagenerators bei  $7,6 \times 10^{-2}$  Pa ( $5,7 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt, während eine Mikrowelle von 2,45 GHz und 100 W von der Mikrowellenzuführeinrichtung 1 zugeführt wurde, um ein in einer Plasmaerzeugungskammer 4 gebildetes Ar-Plasma auf die Oberfläche jedes Dünnfilmkopfes 48 zu emittieren. Gleichzeitig wurde eine RF-Spannung von 13,56 MHz an den Substrathalter 12 aus einer Hochfrequenz-Stromquelle 10 angelegt und CH<sub>4</sub>-Gas über eine Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 bei 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt, so daß eine in jedem Dünnfilmkopf entwickelte Selbstvorspannung -20 V betrug.

Die vorgenannte Stufe wurde während etwa 2,5 Minuten durchgeführt, um einen diamantähnlichen Kohlenstofffilm einer Dicke von 20,0 nm (200 Å) auf der Zwischenschicht, welche auf jedem Dünnfilmkopf 48 vorgesehen war, zu bilden.

Als Ergebnis der vorgenannten zwei Stufen wurde ein schichtförmiger Dünnfilm auf der Oberfläche jedes Dünnfilmkopfes 48 gebildet, wobei die Zwischenschicht aus Si und der diamantähnliche Kohlenstofffilm darauf gebildet wurden. Aufgrund der Bildung einer solchen Zwischenschicht ist es möglich, Spannungen in einem diamantähnlichen Kohlenstofffilm zu relaxieren, wodurch die Haftung zwischen einem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm verbessert wird. Die Spannung in dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm kann vermutlich deswegen relaxiert werden, weil es möglich ist, eine durch einen Unterschied im thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm verursachte, thermische Spannung aufgrund des Vorliegens der Zwischenschicht zu relaxieren. Weiterhin wird die Zwischenschicht mit höherer Haftung gebildet, da die Ar-Ionen nicht nur auf das Target, sondern auf jeden Dünnfilmkopf bei der Bildung der Zwischenschicht aufgebracht werden.

Es folgt nun die Beschreibung eines Beispiels zur Bildung gemischter Schichten aus Stoffatomen und Kohlenstoff als Zwischenschicht, so daß darauf diamantähnliche Kohlenstofffilme gebildet wurden. Bei diesem Beispiel wurde ebenso eine Vorrichtung ähnlich der in Fig. 7 gezeigten verwendet.

Zunächst wurden 24 Dünnfilmköpfe 48 auf der Außenoberfläche des Substrathalters 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Die Vakuumkammer 8 wurde auf  $1,33 \times 10^{-3}$  bis  $1,33 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr) evakuiert und der Substrathalter 12 mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 U/min rotiert.

Dann wurde Ar-Gas über eine Entladungsgas-Einlaßleitung 5 des ECR-Plasmagenerators bei  $7,6 \times 10^{-2}$  Pa ( $5,7 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt, während eine Mikrowelle von 2,45 GHz und 100 W von der Mikrowellenzuführeinrichtung zugeführt wurde, um ein in der Plasmaerzeugungskammer 4 gebildetes Ar-Plasma auf die Oberfläche jedes Dünnfilmkopfes 48 zu emittieren. Gleichzeitig wurde eine RF-Spannung von 13,56 MHz von der Hochfrequenz-Stromquelle 10 an den Substrathalter 12 angelegt und CH<sub>4</sub>-Gas über die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 zugeführt, so daß eine in jedem Dünnfilmkopf 48 entwickelte Selbstvorspannung -20 V betrug. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Zuführmenge des CH<sub>4</sub>-Gases im Verlaufe der Zeit graduell erhöht, um 100 sccm (cm<sup>3</sup>/min), das heißt 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr), nach einem Zeitraum von 3 Minuten zu erreichen, wie in Fig. 8 gezeigt.

Gleichzeitig mit der Filmbildung durch den ECR-Plasmagenerator wurden Ar-Ionen auf die Oberfläche des Targets 46 von der Ionenpistole 47 emittiert. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Ar-Ionen bei einer Beschleunigungsspannung von 900 eV und einer Ionenstromdichte von  $0,3 \text{ mA/cm}^2$  eingestellt. Die Ionenstromdichte wurde im Verlauf der Zeit graduell verringert, um 0 mA/cm<sup>2</sup> nach einem Zeitraum von 3 Minuten zu erreichen, wie in Fig. 9 gezeigt.

Wie oben beschrieben, wurden die Kohlenstofffilmbildung durch Plasma-CVD und das Si-Sputtern gleichzeitig in der ersten und zweiten Öffnung 45 bzw. 43 durchgeführt, um eine gemischte Schicht aus Si und C als Zwischenschicht zu bilden. Gemäß dieser Ausführungsform wurde die vorgenannte Stufe während etwa 3 Minuten durchgeführt, um eine gemischte Schicht aus Si und C mit einer Gesamtdicke von 6,0 nm (60 Å) auf der Oberfläche jedes Dünnfilmkopfes 48 zu bilden. Wie in den Fig. 8 und 9 gezeigt, war die Si-Menge verringert und die Menge der Kohlenstofffilmbildung im Verlaufe der Zeit erhöht. Diese Zwischenschicht besaß somit eine solche abgestufte Struktur, daß der Si-Gehalt graduell verringert und der C-Gehalt graduell erhöht waren, mit der Staffelung des Abstandes von der Oberfläche jedes Dünnfilmkopfes 48.

Dann wurde eine diamantähnlicher Kohlenstofffilm auf jeder Zwischenschicht gebildet. CH<sub>4</sub>-Gas wurde über die Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 bei einem konstanten Partialdruck von 0,17 Pa ( $1,3 \times 10^{-3}$  Torr) zugeführt, um in kontinuierlicher Weise eine Filmbildung durch den ECR-Plasmagenerator bei der vorgenannten Stufe durchzuführen. Diese Stufe wurde während etwa 2,5 Minuten durchgeführt, um einen diamantähnlichen Kohlenstoffilm einer Dicke von 20,0 nm (200 Å) auf der Zwischenschicht jedes Dünnfilmkopfes 48 zu bilden.

Als Ergebnis wurde ein schichtförmiger Film auf der Zwischenschicht aus Si und C einer abgestuften Struktur und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm auf jedem Substrat gebildet. Eine solche Zwischenschicht besitzt eine geneigte Struktur und kann weiterhin die Haftung zwischen dem Substrat und dem diamantähnlichen Kohlenstofffilm verbessern, verglichen mit der vorgenannten Ausführungsform, bei der die Zwischenschicht aus einem

einzigsten Element besteht.

Es folgt nun die Beschreibung eines Beispiels zur Bildung von hauptsächlich aus Si zusammengesetzten Zwischenschichten auf Ni-Substraten zur Bildung diamantähnlicher Kohlenstofffilme gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung mittels der in Fig. 7 gezeigten Vorrichtung.

Die Vakuumkammer 8 wurde auf  $1,33 \times 10^{-3}$  bis  $1,33 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr) evakuiert und der Substrathalter 12 mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 U/min rotiert. 24 Ni-Substrate wurden auf dem Substrathalter 12 in regelmäßigen Abständen montiert. Die Ionenpistole 47 wurde mit Ar-Gas gespeist, um Ar-Ionen auf die Oberfläche des Targets 46 zu emittieren. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Ar-Ionen bei einer Beschleunigungsspannung von 900 eV und einer Ionenstromdichte von  $0,4 \text{ A/cm}^2$  eingestellt, während das gesputterte Si auf jedes Substrat mit einer Verdampfungsrate von  $3,0 \text{ nm/min}$  ( $30 \text{ \AA/min}$ ) verdampft wurde.

Die Zeit für die Si-Sputterstufe wurde geändert, um die Dicken der auf den Ni-Substraten gebildeten Si-Zwischenschichten auf  $3,0 \text{ nm}$  ( $30 \text{ \AA}$ ).  $5,0 \text{ nm}$  ( $50 \text{ \AA}$ ).  $10,0 \text{ nm}$  ( $100 \text{ \AA}$ ) und  $50,0 \text{ nm}$  ( $500 \text{ \AA}$ ) (Beispiel 5) zu variieren.

Es wurden diamantähnliche Kohlenstofffilme einer Dicke von  $120,0 \text{ nm}$  ( $1200 \text{ \AA}$ ) ähnlich Beispiel 1 auf den Zwischenschichten unterschiedlicher Dicke, welche in der vorgenannten Weise erhalten wurden, gebildet.

Mit den in vorgenannter Weise erhaltenen, diamantähnlichen Kohlenstofffilmen wurde ein Bewertungstest hinsichtlich der Haftung durchgeführt. Die Haftungsbewertungsprüfung wurde ähnlich der für die Beispiele 1 bis 4 durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2

	Beispiel 1	Beispiel 5			
		3,0 nm ( $30 \text{ \AA}$ )	5,0 nm ( $50 \text{ \AA}$ )	10,0 nm ( $100 \text{ \AA}$ )	50,0 nm ( $500 \text{ \AA}$ )
Anzahl der Proben, bei denen Abtrennung bewirkt wurde	43	16	0	0	0

Wie aus Tabelle 2 klar zu ersehen ist, wurden die diamantähnlichen Kohlenstofffilme generell abgetrennt, wenn die Zwischenschichten eine geringere Dicke als  $5,0 \text{ nm}$  ( $50 \text{ \AA}$ ) aufwiesen, während eine solche Abtrennung nicht zu erkennen war, wenn die Filmdicken  $5,0 \text{ nm}$  ( $50 \text{ \AA}$ ) überschritten.

Es ist anzunehmen, daß ein ausreichender Dickebereich für die Zwischenschicht bis zu etwa  $500,0$  ( $5000 \text{ \AA}$ ) beträgt, wenn das mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtete Substrat gemäß der Erfindung bei einem Außenblatt eines Elektrorasierers angewandt wird. Eine Verbesserung der Haftung bleibt unverändert, selbst wenn die Dicke  $500,0 \text{ nm}$  ( $5000 \text{ \AA}$ ) überschreitet. Daher ist dann auszugehen, daß eine Dicke von etwa  $400,0 \text{ nm}$  ( $4000 \text{ \AA}$ ) für eine Zwischenschicht, welche hauptsächlich aus Si zusammengesetzt ist, gemäß der vorliegenden Erfindung ausreichend ist. Ebenso ist davon auszugehen, daß eine Dicke von etwa  $500,0 \text{ nm}$  ( $5000 \text{ \AA}$ ) für den diamantähnlichen Kohlenstofffilm ausreichend ist. Wenn die Dicke des diamantähnlichen Kohlenstofffilms  $500,0 \text{ nm}$  ( $5000 \text{ \AA}$ ) überschreitet, kann leicht eine innere Spannung verursacht werden, wodurch das Substrat deformiert wird.

Es folgt nun die Beschreibung eines Beispiels zur Bildung von gemischten Schichten aus Si und Kohlenstoff als Zwischenschichten.

Gemischte Schichten aus Si und Kohlenstoff wurden ähnlich dem vorgenannten Beispiel zur Bildung gemischter Schichten aus Si und C als Zwischenschichten gebildet. Es wurden Proben hergestellt durch Variieren der Dicken der Zwischenschichten auf  $3,0 \text{ nm}$  ( $30 \text{ \AA}$ ).  $5,0 \text{ nm}$  ( $50 \text{ \AA}$ ).  $10,0 \text{ nm}$  ( $100 \text{ \AA}$ ) und  $50,0 \text{ nm}$  ( $500 \text{ \AA}$ ) (Beispiel 6). Weiterhin wurden diamantähnliche Kohlenstofffilme mit einer Dicke von  $120,0 \text{ nm}$  ( $1200 \text{ \AA}$ ) gebildet. Die Haftung der diamantähnlichen Kohlenstofffilme wurde bei den in vorgenannter Weise erhaltenen Proben ähnlich wie oben bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 gezeigt.

Tabelle 3

	Beispiel 1	Beispiel 6			
		3,0 nm (30 Å)	5,0 nm (50 Å)	10,0 nm (100 Å)	50,0 nm (500 Å)
Anzahl der Proben, bei denen Abtrennung bewirkt wurde	43	14	0	0	0

Wie aus Tabelle 3 klar zu ersehen ist, trennten sich die diamantähnlichen Kohlenstofffilme generell ab, wenn die Zwischenschichten aus SiC eine geringere Dicke als 5,0 nm (50 Å) aufwiesen, während eine solche Abtrennung nicht zu erkennen war, wenn die Filmdicken 5,0 nm (50 Å) überschritten. Die Zwischenschicht besitzt somit vorzugsweise eine Dicke von mindestens 5,0 nm (50 Å), auch wenn diese aus SiC hergestellt ist.

Es wurde dann Stickstoffgas als Stickstoff enthaltendes Reaktionsgas über die Gaseinlaßleitung 16, wie in Fig. 7 gezeigt, in die Vakuumkammer 8 eingeführt, um gemischte Schichten aus Si und Stickstoff als Zwischenschichten zu bilden. Das Stickstoffgas wurde bei einem Partialdruck von  $2,4 \times 10^{-2}$  Pa ( $1,8 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt. Es wurden diamantähnliche Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten gebildet und zwar unter Bedingungen ähnlich denjenigen in Beispiel 6. Folglich wurde Ergebnisse ähnlich den in Tabelle 3 gezeigten erhalten.

Weiterhin wurden gemischte Schichten aus Si und Sauerstoff als Zwischenschichten gebildet, um letztendlich diamantähnliche Kohlenstofffilme auf diesen Zwischenschichten zu bilden. Ein Sauerstoff enthaltendes Reaktionsgas wurde aus Sauerstoffgas hergestellt und bei einem Partialdruck von  $2,4 \times 10^{-2}$  Pa ( $1,8 \times 10^{-4}$  Torr) zugeführt. Es wurden diamantähnliche Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten gebildet, und zwar unter Bedingungen ähnlich denjenigen in Beispiel 6. Folglich wurden Ergebnisse ähnlich denjenigen in Tabelle 3 gezeigten erhalten.

Weiterhin wurde Ge anstelle von Si als Zwischenschicht eingesetzt. Die Bewertung der Haftung wurde ähnlich wie in den Beispielen 5 und 6 durchgeführt. Es wurden folglich Ergebnisse ähnlich denjenigen in Tabellen 2 und 3 gezeigten erhalten.

Es folgt nun die Beschreibung eines Beispiels gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung. Gemäß diesem Beispiel wurden Kohlenstoffdünnsfilme als Zwischenschichten gebildet. Zur Bildung der Kohlenstoffdünnsfilme wurde eine Vorrichtung ähnlich der in Fig. 7 gezeigten verwendet, wobei ein Kohlenstofftarget eingesetzt wurde. Ar-Ionen wurden bei einer Beschleunigungsspannung von 900 eV und einer Ionenstromdichte von  $0,3 \text{ mA/cm}^2$  eingestellt. Die Zeit zur Bildung der Kohlenstoffdünnsfilme wurde geändert, um die Dicken der Kohlenstoffdünnsfilme, die als Zwischenschichten dienen, auf 3,0 nm (30 Å), 5,0 nm (50 Å), 10,0 nm (100 Å) und 50,0 nm (500 Å) (Beispiel 7) zu variieren. Es wurden dann diamantähnliche Kohlenstofffilme auf den Zwischenschichten mit unterschiedlichen Dicken, welche in der vorgenannten Weise erhalten wurden, ähnlich Beispiel 5 gebildet und der Haftungsbewertung unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 gezeigt.

Tabelle 4

	Beispiel 1	Beispiel 7			
		3,0 nm (30 Å)	5,0 nm (50 Å)	10,0 nm (100 Å)	50,0 nm (500 Å)
Anzahl der Proben, bei denen Abtrennung bewirkt wurde	43	15	0	0	0

Wie aus der Tabelle 4 klar zu ersehen ist, trennten sich die diamantähnlichen Kohlenstofffilme generell ab, wenn die Zwischenschichten eine geringere Dicke als 5,0 nm (50 Å) besaßen, während eine solche Abtrennung nicht zu erkennen war, wenn die Filmdicken 5,0 nm (50 Å) überschritten. Somit ist die Zwischenschicht vorzugsweise mindestens 5,0 nm (50 Å) dick, auch wenn diese durch einen Kohlenstoffdünnsfilm gebildet wird. Weiterhin ist die Zwischenschicht vorzugsweise nicht mehr als 400,0 nm (4000 Å) dick, wenn das mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtete Substrat als Außenblatt eines Elektrorasierers angewandt wird, während diese vorzugsweise nicht mehr als 800,0 nm (8000 Å) dick ist, wenn das mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtete Substrat als Innenblatt angewandt wird, aus einem Grund ähnlich dem in dem Beispiel gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung.

Gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Zwischenschicht durch Plasma-CVD gebildet werden. In

diesem Fall wird ein Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht enthaltendes Gas in eine Vakuumkammer 8 über eine Reaktionsgas-Einlaßleitung 16 zugeführt, um ein Plasma zu bilden und das Plasma gegen ein Substrat zu emittieren, wodurch die Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet wird.

Zwar wurde jede der vorgenannten Ausführungsformen und jedes Beispiel unter Bezugnahme auf einen ECR-Plasmagenerator, welcher als Plasmaerzeugungseinrichtung dient, beschrieben, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, sondern es ist ebenso einen anderen Plasma-CVD-Vorrichtung einsetzbar, wie etwa eine Hochfrequenz-Plasma-CVD-Vorrichtung oder eine DC-Plasma-CVD-Vorrichtung.

## Patentansprüche

1. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat, umfassend:  
ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder einem nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat;  
eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Ru zusammengesetzte Zwischenschicht; und  
einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.
2. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 1, wobei die Zwischenschicht eine gemischte Schicht aus Ru und mindestens einem Element aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff ist, deren Zusammensetzung verhältnis entlang ihrer Dicke abgestuft ist.
3. Verfahren zur Herstellung eines mit einem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats, umfassend die Schritte:  
Emittieren von Ionen eines Inertgases gegen ein in einer Vakuumkammer angeordnetes Substrat und gleichzeitig Emittieren von Stoffatomen zur Bildung einer Zwischenschicht aus einer Verdampfungsquelle gegen das Substrat, wodurch eine Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet wird; und  
Zuführen eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.
4. Verfahren zur Herstellung eines mit einem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats, umfassend die Schritte:  
Zuführen eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in eine Vakuumkammer mit einer graduell erhöhten Zuführmenge zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen ein in der Vakuumkammer angeordnetes Substrat, während Ionen eines Inertgases gegen das Substrat emittiert und gleichzeitig Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht aus einer Verdampfungsquelle gegen das Substrat mit einer graduell verringerten Verdampfungsrate emittiert werden, wodurch eine Zwischenschicht aus einer aus den Stoffatomen und Kohlenstoff bestehenden gemischten Schicht auf dem Substrat gebildet wird; und  
Zuführen eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.
5. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat, umfassend:  
ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat;  
eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Si zusammengesetzte Zwischenschicht; und  
einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.
6. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 5, wobei die Zwischenschicht eine gemischte Schicht aus Si und mindestens einem Element aus Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff ist, deren Zusammensetzung verhältnis entlang ihrer Dicke abgestuft ist.
7. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat, umfassend:  
ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat;  
eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Ge zusammengesetzte Zwischenschicht; und  
einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.
8. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 7, wobei die Zwischenschicht eine gemischte Schicht aus Ge und mindestens einem Element aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff ist, deren Zusammensetzung verhältnis entlang ihrer Dicke abgestuft ist.
9. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 5 oder 7, wobei die Zwischenschicht eine Dicke von 5 bis 800 nm (50 bis 8000 Å) besitzt.
10. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 5 oder 7, wobei die Zwischenschicht eine Dicke von 5 bis 400 nm (50 bis 4000 Å) besitzt.
11. Verfahren zur Herstellung eines mit einem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats, umfassend die Schritte:  
Sputtern von Stoffatomen zur Bildung einer Zwischenschicht durch Bestrahlen mit Ionen eines Inertgases, wodurch eine Zwischenschicht auf einem in einer Vakuumkammer angeordneten Substrat gebildet wird; und  
Zuführen eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.
12. Verfahren zur Herstellung eines mit einem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats, umfassend die Schritte:  
Zuführen eines Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff enthaltenden Reaktionsgases in eine Vakuumkam-

mer mit einer graduell erhöhten Zuführmenge zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen ein in der Vakuumkammer angeordnetes Substrat, während Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht gesputtert werden durch Bestrahlen dieser mit Ionen eines Inertgases mit einer graduell verringerten Bestrahlungsmenge, wodurch eine Zwischenschicht aus einer aus den Stoffatomen und Kohlenstoff, Stickstoff oder Sauerstoff bestehenden gemischten Schicht auf dem Substrat gebildet wird; und

5 Zuführen eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird.

10 13. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat, umfassend:

ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder nichtrostendem Stahl bestehendes Substrat;

eine auf dem Substrat gebildete, hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehende Zwischenschicht; und

einen auf der Zwischenschicht gebildeten, harten Kohlenstofffilm.

15 14. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 13, wobei die Zwischenschicht eine Dicke von 5 bis 800 nm (50 bis 8000 Å) besitzt.

15 15. Mit einem harten Kohlenstofffilm beschichtetes Substrat nach Anspruch 13, wobei die Zwischenschicht eine Dicke von 5 bis 400 nm (50 bis 4000 Å) besitzt.

16. Verfahren zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf einem Substrat, umfassend die Schritte:

Erzeugen eines Plasmas aus einem Inertgas durch Elektronenzyklotronresonanz;

20 Anlegen einer hochfrequenten Spannung an das Substrat, so daß eine in dem Substrat entwickelte Eigenvorspannung nicht mehr als -20 V beträgt; und

Emittieren des Plasmas aus dem Inertgas auf das Substrat durch eine Öffnung einer Abschirmungsabdeckung, welche über dem Substrat vorgesehen ist, während ein Kohlenstoff enthaltendes Reaktionsgas in das Plasma eingeführt wird zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf dem Substrat.

25 17. Verfahren zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms nach Anspruch 16, wobei das Inertgas Ar-Gas ist.

18. Verfahren zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms nach Anspruch 16, wobei das Kohlenstoff, enthaltende Reaktionsgas ein CH<sub>4</sub>-Gas ist.

19. Verfahren zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms nach Anspruch 16, wobei die Zufuhrpartialdrücke für das Inertgas und das Kohlenstoff enthaltende Reaktionsgas mindestens 0,01333 Pa ( $1,0 \times 10^{-4}$  Torr) und nicht mehr als 0,2666 Pa ( $20,0 \times 10^{-4}$  Torr) betragen.

30 20. Vorrichtung zur Bildung eines harten Kohlenstofffilms auf einem Substrat, umfassend:

eine Vakuumkammer (8);

einen in der Vakuumkammer rotierbar angeordneten Substrathalter (12);

35 eine Abschirmungsabdeckung (14, 44), welche teilweise mit einer Öffnung (15, 45) versehen und so angeordnet ist, daß sie eine Außenoberfläche des Substrathalters einschließt;

eine Plasmaerzeugungseinrichtung (4, 6) zur Erzeugung eines Plasmas in der Vakuumkammer und zum Emittieren des Plasmas gegen das Substrat (13) durch die Öffnung (15, 45);

eine Reaktionsgas-Einlaßeinrichtung (16) zur Zuführung eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in das von der Plasmaerzeugungseinrichtung erzeugte Plasma; und

40 eine Hochfrequenz-Stromquelle (10) zum Anlegen einer hochfrequenten Spannung an den Substrathalter, so daß eine in dem Substrat entwickelte Eigenvorspannung negativ wird.

21. Vorrichtung zur Bildung einer Zwischenschicht auf einem Substrat und zur Bildung eines harten Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht, umfassend:

eine Vakuumkammer (8);

45 einen rotierbar in der Vakuumkammer angeordneten Substrathalter (12);

eine Abschirmungsabdeckung (14, 44), welche teilweise mit ersten und zweiten Öffnungen (15, 45, 43) versehen und so angeordnet ist, daß sie eine Außenoberfläche des Substrathalters einschließt

eine Plasmaerzeugungseinrichtung (4, 6) zur Erzeugung eines Plasmas in der Vakuumkammer und zum Emittieren des Plasmas gegen das Substrat (13) durch die erste Öffnung (15, 45);

50 eine Reaktionsgas-Einlaßeinrichtung (16) zur Zuführung eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in das von der Plasmaerzeugungseinrichtung erzeugte Plasma;

eine Hochfrequenzstromquelle (10) zur Anlegung einer hochfrequenten Spannung an den Substrathalter, so daß eine in dem Substrat entwickelte Eigenvorspannung negativ wird; und

55 eine in der Vakuumkammer vorgesehene Einrichtung (41, 42, 46, 47) zur Bildung der Zwischenschicht zum Emittieren von Stoffatomen gegen das Substrat durch die zweite Öffnung (43) zur Bildung der Zwischenschicht.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, wobei die Einrichtung (41, 42, 46, 47) zur Bildung der Zwischenschicht folgendes umfaßt:

eine in der Vakuumkammer vorgesehene Verdampfungsquelle (41) zum Emittieren der Stoffatome zur Bildung der Zwischenschicht gegen das Substrat durch die zweite Öffnung (43), und

60 eine Ionenpistole (42, 47) zum Emittieren von Ionen eines Inertgases gegen das Substrat durch die zweite Öffnung (43), gleichzeitig mit der Emission der Stoffatome aus der Verdampfungsquelle.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21, wobei die Einrichtung (41, 42, 46, 47) zur Bildung der Zwischenschicht folgendes umfaßt:

65 ein aus den Stoffatomen zur Bildung der Zwischenschicht bestehendes Target (46), welches in der Vakuumkammer zum Sputtern der Stoffatome gegen das Substrat durch die zweite Öffnung (43) vorgesehen ist, und eine Ionenpistole (47) zum Emittieren von Ionen eines Inertgases gegen das Target zum Sputtern des Targets.

# DE 44 23 184 A1

24. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Plasmaerzeugungseinrichtung (4, 6) eine Elektronenzyklotronresonanz-Plasma-CVD-Vorrichtung ist. 5
25. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Abschirmungsabdeckung von der Außenoberfläche des Substrathalters durch einen Abstand getrennt ist, welcher nicht mehr als eine mittlere freie Bahn von Gasmolekülen beträgt.
26. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Abschirmungsabdeckung von der Außenoberfläche des Substrathalters durch einen Abstand getrennt ist, weicher nicht mehr als 1/10 einer mittleren freien Bahn von Gasmolekülen beträgt.
27. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Abschirmungsabdeckung auf einem vorgeschriebenen Potential gehalten wird. 10
28. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Abschirmungsabdeckung geerdet ist.
29. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Stoffatome zur Bildung der Zwischenschicht aus Si, Ru, Kohlenstoff oder Ge oder einer Mischung aus Si, Ru, Kohlenstoff oder Ge und mindestens einem aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff, bestehen.
30. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei das Substrat ein aus einem Metall oder einer hauptsächlich aus Ni oder Al zusammengesetzten Legierung oder aus einem nichtrostenden Stahl bestehendes Substrat ist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die in dem Substrat entwickelte Eigenvorspannung – 20 V beträgt.
32. Verfahren zur Herstellung eines mit einem harten Kohlenstofffilm beschichteten Substrats, umfassend die Schritte:  
Zuführen eines Stoffatome zur Bildung einer Zwischenschicht enthaltenden Gases in eine Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen ein Substrat, wodurch eine Zwischenschicht auf dem Substrat gebildet wird; und  
Zuführen eines Kohlenstoff enthaltenden Reaktionsgases in die Vakuumkammer zur Bildung eines Plasmas und Emittieren des Plasmas gegen die Zwischenschicht, wodurch ein harter Kohlenstofffilm auf der Zwischenschicht gebildet wird. 25

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

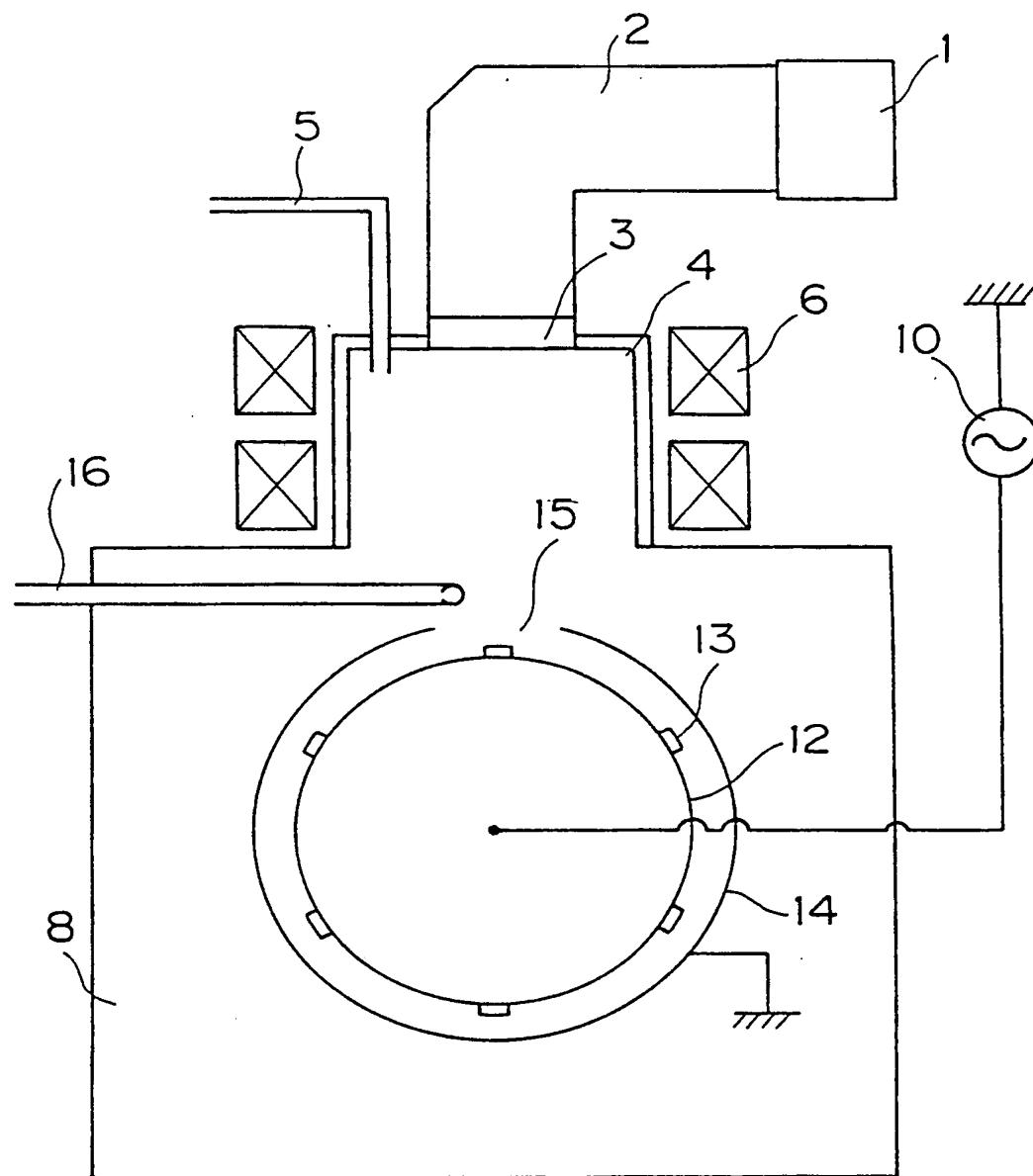


FIG. 2

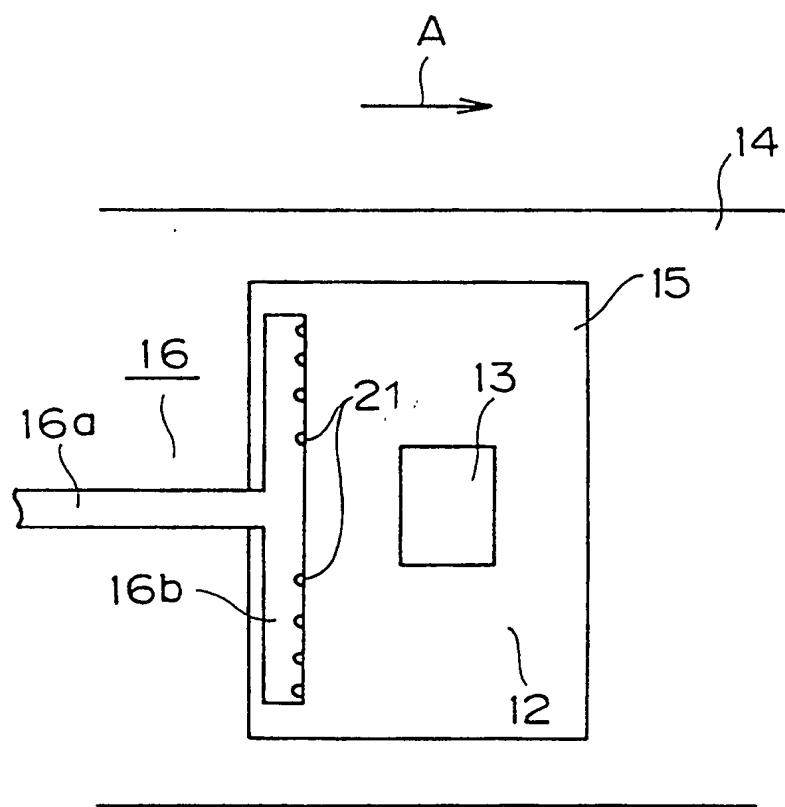


FIG. 3

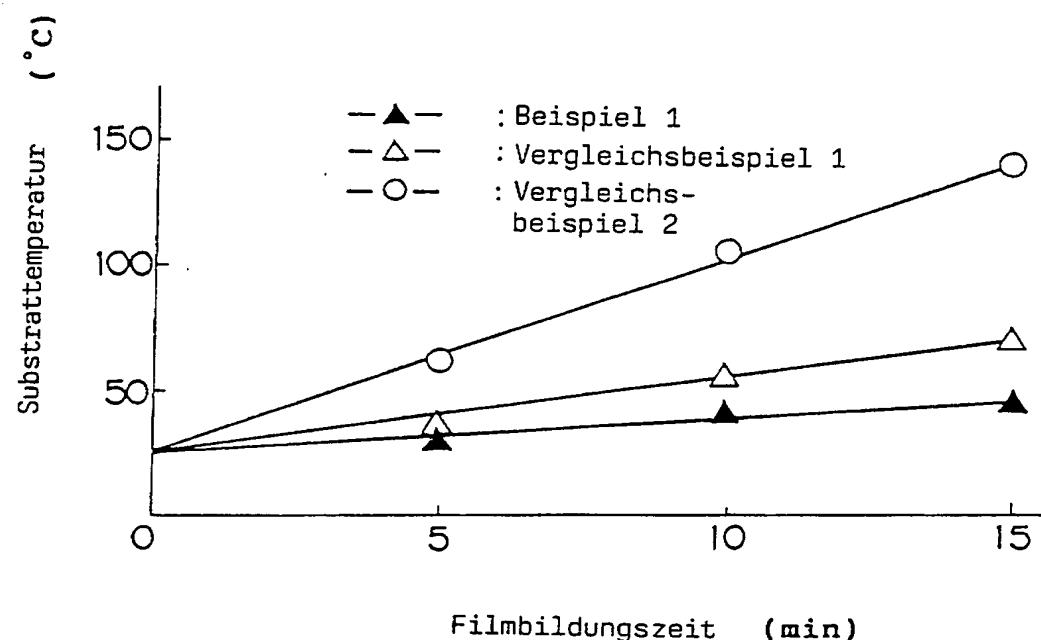


FIG. 4

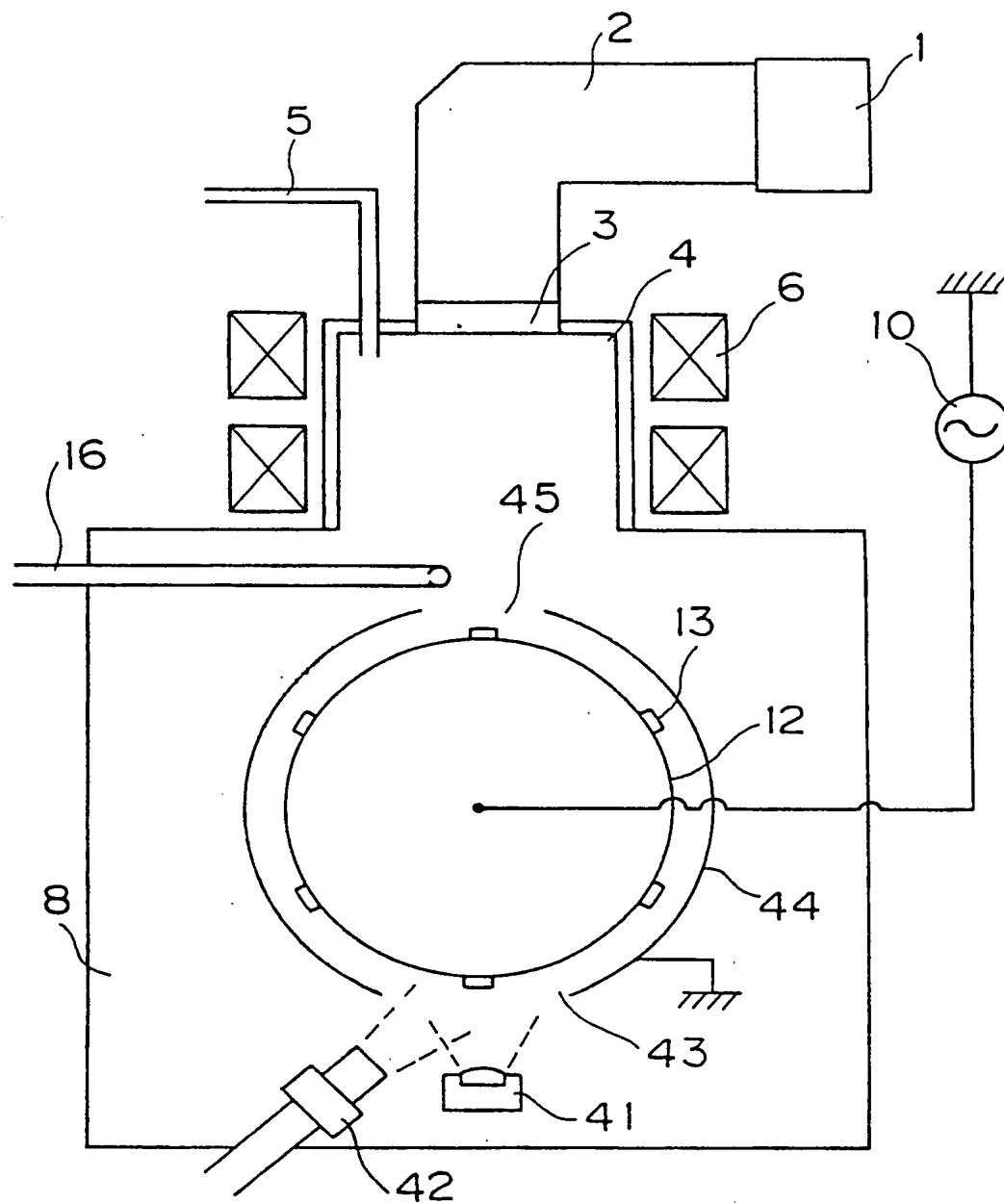


FIG. 5

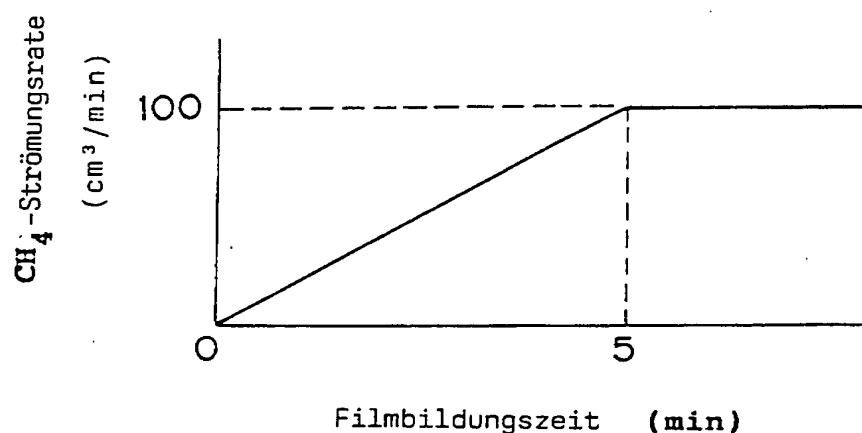


FIG. 6

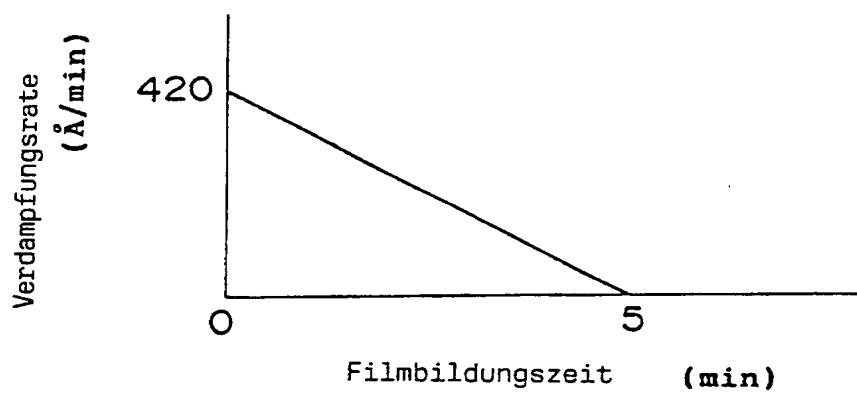


FIG. 7

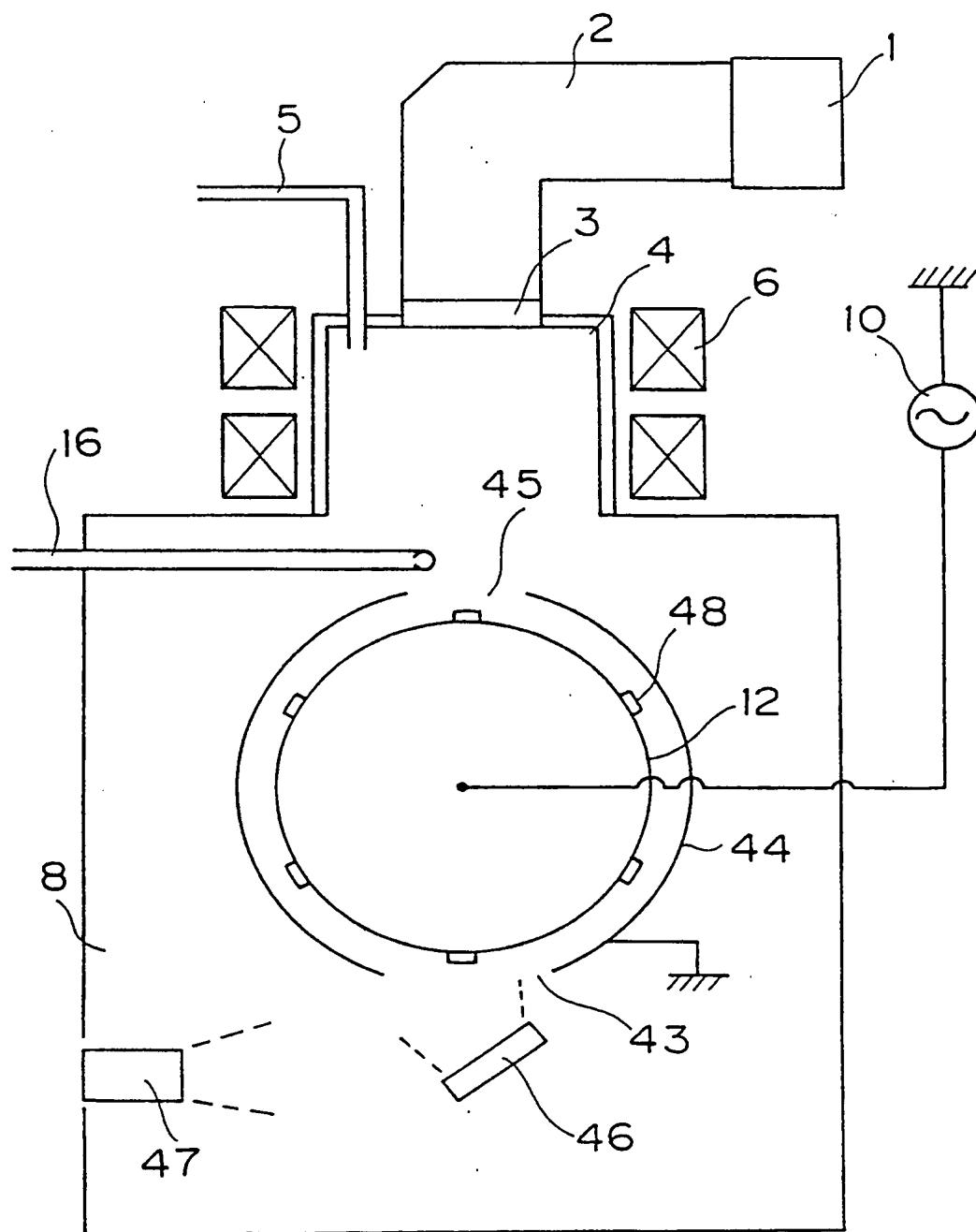


FIG. 8

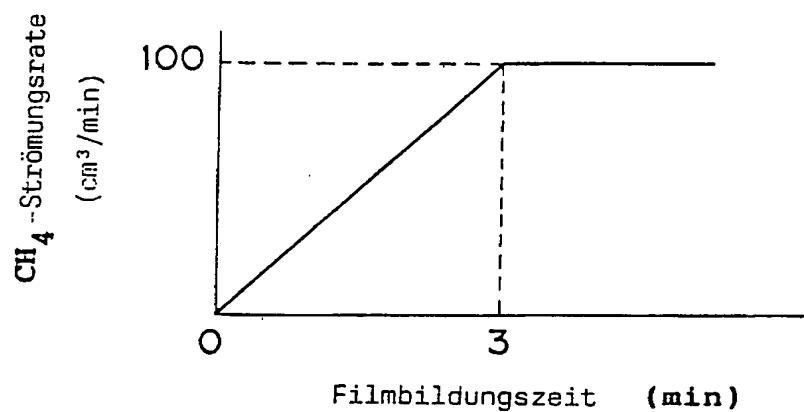


FIG. 9

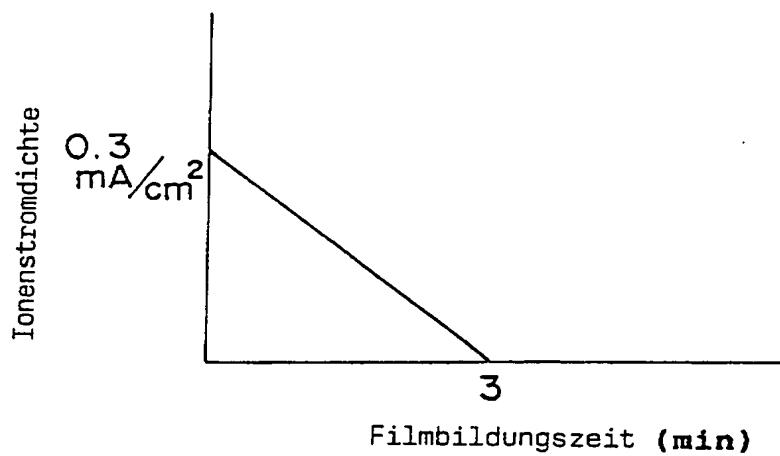


FIG. 10

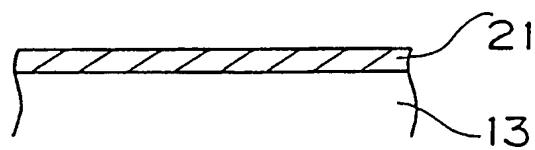


FIG. 11

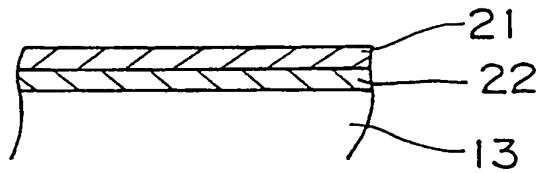


FIG. 12 STAND DER TECHNIK

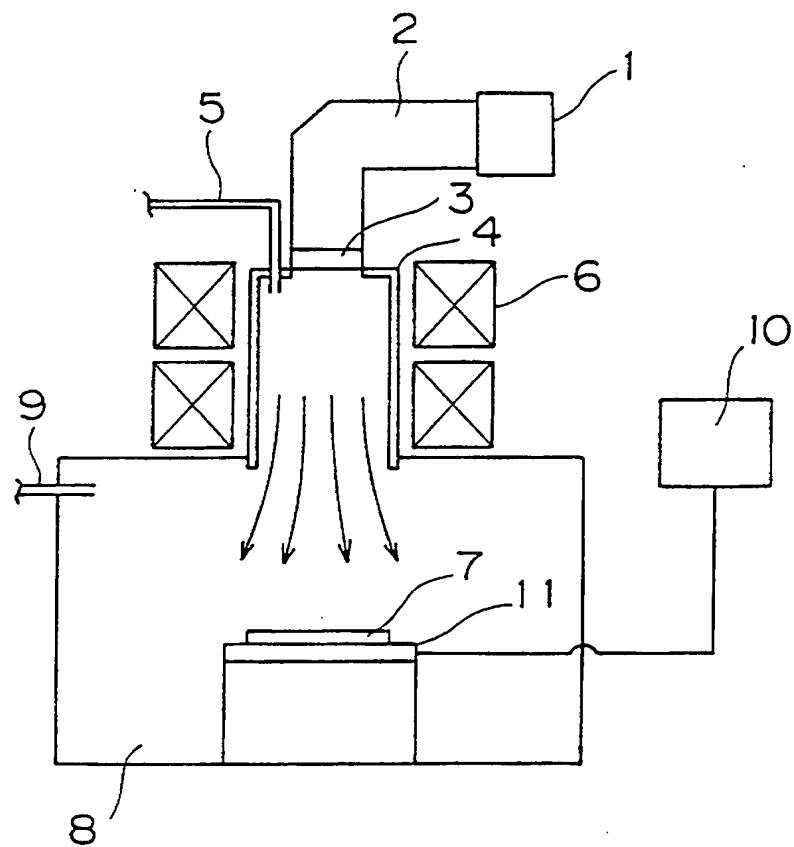


FIG. 13

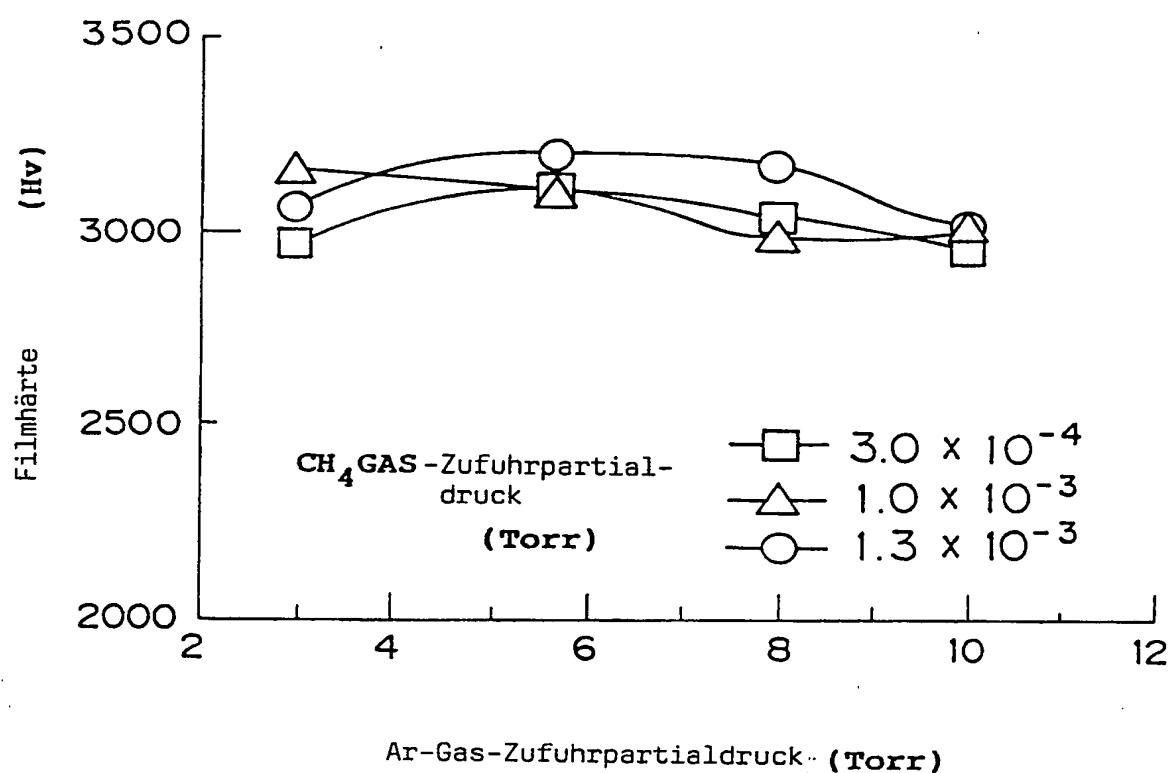


FIG. 14

